

Pyöröpaalaimen kammiotyyppin
vaikutukset paalin tiheyteen ja
polttoaineenkulutukseen esikuivatulla
säilörehulla

Kalle Murto
Maisterintutkielma
Helsingin yliopisto
Maataloustieteiden laitos
Agroteknologia 12.5.2020

Tiedekunta – Fakultet – Faculty Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta		Osasto – Sektion - Department Maataloustieteiden osasto
Tekijä – Författare – Author Kalle Murto		
Työn nimi – Arbetets titel – Title Pyöröpaalaimen kammiotyyppin vaikutus paalin tiheyteen ja paalauksen polttoaineen kulutukseen		
Oppiaine/Opintosuunta – Läroämne/Studieinriktning – Subject/Study track Agroteknologia		
Työn laji – Arbetets art – Level Maisterintutkielma	Aika – Datum – Month and year Toukokuu 2020	Sivumäärä – Sidoantal – Number of pages 43 s.
<p>Tiivistelmä – Referat – Abstract</p> <p>Pyöröpaalaimet ovat kehittyneet tehokkaammiksi 2000-luvulla ja pyöröpaalien käyttö on yleistä karjan ruokinnassa ja kuivikkeiden keräämisessä. Pyöröpaalaimia on kahta päätyyppiä: muuttuvakammioinen ja kiinteäkammioinen paalain. Kammiotyyppien vaikutuksesta paalin tiheyteen ja paalainten tehontarpeen sekä energian kulutuksesta on tutkimuksia 1980 ja 1990-luvuilta, mutta moderneilla yhdistelmäpaalaimilla vastaavaa tutkimusta ei ollut tehty.</p> <p>Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää merkittävämmät erot muuttuvakammioisen ja kiinteäkammioisen koneen välillä, punnitsemalla erilaisissa olosuhteissa tehtyjen paalien painoja ja ominaisuuksia, sekä mittaamalla paalaustyön polttoaineen kulutusta traktorin CAN-väylän kautta. Koe tehtiin ajamalla samalla traktorilla peräkkäin mahdollisimman samassa olosuhteessa kahta eri toimintaperiaatteella toimivaa yhdistelmäpaalainta.</p> <p>Paaleja tehtiin kolmessa eri kosteusolosuhteessa peräkkäin konetta vaihtaen saman traktorin perään. Paalit merkittiin ja punnittiin. Paaleista otettujen rehunäytteiden avulla todennettiin vallinneita olosuhteita ja pystyttiin vertaamaan paalin sisältämiä kuiva-ainemääriä. Lisäksi mitattiin samoilla menetelmillä muuttuvakammioisella paalaimella paalikkoon kasvattamisen vaikutusta paalin tilavuuspainoon ja työn polttoaineenkulutukseen. Kiinteäkammioisella paalaimella mitattiin myös silppuriterien käytön vaikutuksia paalin tilavuuspainoon.</p> <p>Tutkimuksen tuloksena oli, ettei paalaimen kammiotyyppillä ollut merkittävää vaikutusta paalin tilavuuspainoon missään testatuissa kosteusolosuhteissa. Myös polttoaineen kulutuksen ero oli koneiden välillä melko pieni. Olosuhteista riippuen muuttuvakammioisen paalaimen polttoaineenkulutus oli 1 – 10 % pienempi kuin kiinteäkammioisen. Kiinteäkammioisella paalaimella 25 silppuriterän käyttö lisäsi paalin painoa noin 8 %.</p> <p>Paalaimen kammiotyyppillä on vaikutus paalauksen tehokkuuteen ja kustannuksiin, mutta paalin tilavuuspainoon sillä ei ollut merkittävää vaikutusta. Paalaimen valitsemisessa tärkeämpää on, että koneella saadaan tehtyä käyttötarkoitukseen ja logistiikkaan sopivankokoisia paaleja.</p>		
Avainsanat – Nyckelord – Keywords Pyöröpaalaus, säilörehu, yhdistelmäpaalain, tehontarve, tilavuuspaino		
Ohjaaja tai ohjaajat – Handledare – Supervisor or supervisors Apulaisprofessori Antti Lajunen ja Turun Konekeskuksen myyntijohtaja Anders Vahtola		
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited Maataloustieteiden osasto		
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information Tutkimuksen tekemisen rahoitti ja mahdollisti McHale maahantuoja Turun Konekeskus Oy, jonka kokemuksia ja tarvetta mukaillen tutkimus toteutettiin		

Tiedekunta – Fakultet – Faculty Faculty of Agriculture and Forestry		Osasto – Sektion - Department Department of Agricultural Sciences
Tekijä – Författare – Author Kalle Murto		
Työn nimi – Arbetets titel – Title Effects of round baler chamber type on bale density and fuel consumption		
Oppiaine/Opintosuunta – Läroämne/Studieinriktning – Subject/Study track Agrotechnology		
Työn laji – Arbetets art – Level Master's thesis	Aika – Datum – Month and year 05/2020	Sivumäärä – Sidoantal – Number of pages 43 p.
<p>Tiivistelmä – Referat – Abstract</p> <p>Round baling is a common way to harvest feed and bedding materials from fields. Round balers have improved in the 21th century to be more efficient. There are two main chamber types for round baling, fixed chamber and variable chamber. Differences between chamber types were researched in 80s and 90s. There were no research studies made with modern high capacity combi balers.</p> <p>The aim of this study was to find out if there are significant differences between fixed chamber and variable chamber balers. Differences were examined by weighing bales that were made in different moisture conditions and measuring the fuel consumption from tractors CAN-bus. The tests were carried out by operating two different types of combination balers in succession under the same conditions as far as possible.</p> <p>Bales were made in three different humidity conditions in succession, changing the machine behind the same tractor. The bales were marked and weighed. Feed samples taken from the bales were used to verify the prevailing conditions and to be able to compare the dry matter content of the bale. In addition, the effect of increasing the bale size with a variable chamber baler on the bale volume weight and the fuel consumption of the work was measured by the same methods. The effects of using chopping knives on the volume weight of the bale were also measured with a fixed chamber baler.</p> <p>The result of the study was that the chamber type had no significant effect on the volume weight of the bale under any of the humidity conditions tested. The difference in fuel consumption between the machines was also quite small. Depending on the humidity conditions, the fuel consumption of the variable chamber baler was 1 to 10 % lower than that of the fixed chamber baler. With a fixed chamber baler, the use of 25 shredder blades increased the weight of the bale by about 8 % when compared to non-chopped bales.</p> <p>The bale chamber type had an effect on baling efficiency and cost, but it did not have a significant effect on the bale volume weight. When choosing a baler, it is more important that the machine can be used to make bales that are suitable size for the purpose and logistics.</p>		
Avainsanat – Nyckelord – Keywords Round baler, density, power requirement, fuel consumption		
Ohjaaja tai ohjaajat – Handledare – Supervisor or supervisors Assistant Professor Antti Lajunen University of Helsinki and Sales Manager Anders Vahtola Turun Konekeskus Oy		
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited Department of Agricultural Sciences		
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information The research was funded and made possible by McHale importer Turku Konekeskus Oy, whose experiences and needs were carried out in accordance with the research.		

Sisällysluettelo

Lyhenteet	6
1. Johdanto	7
2. Taustaa paalauksesta.....	9
2.1 Pyöröpaalaus	9
2.1.1 Yhdistelmäpaalain.....	9
2.2 Paalaimen toimintaperiaate.....	10
2.2.1 Kiinteäkammioinen pyöröpaalain.....	11
2.2.2 Muuttuvakammioinen pyöröpaalain.....	12
2.2.3 Suurkanttipaalain.....	14
2.2.4 Paalin tiivistäminen ja tilavuuspaino	15
3. Tavoitteet ja hypoteesit.....	18
4. Aineisto ja menetelmät	19
4.1. Tutkimuksessa käytetyt paalaimet.....	19
4.1.1. Paalainten säätäminen	19
4.2. Tutkimuksessa käytetty traktori.....	21
4.3. Tutkimuksessa käytetyt mittalaitteet ja mittausmenetelmät.....	21
4.3.1 Paalien analysointi	21
4.3.2 Paalauksen energiankulutuksen ja tehon tarpeen mittaus.....	23
4.4. Olosuhteiden vakiointi tasavertaiseksi.....	25
4.5 Rehuanalyysit	26

5. Tulokset.....	27
5.1 Pyöröpaalin tilavuuspaino eri kosteusolosuhteissa	27
5.2. Kammiotyyppin vaikutus polttoaineen kulutukseen	28
5.3 Kammiotyyppin vaikutus paalauksen tehontarpeeseen	31
5.4 Paalin halkaisijan vaikutus tilavuuspainoon muuttuvakammioisella paalaimella	32
5.5 Silppuriterien vaikutus paalin painoon.....	32
5.6. Silppuriterien vaikutus paalauksen polttoaineen kulutukseen.....	33
6. Tulosten tarkastelu	34
6.1 Kammiotyyppin vaikutus paalien tilavuuspainoon	34
6.2 Kammiotyyppin vaikutus polttoaineen kulutukseen ja tehontarpeeseen	35
6.3 Paalin halkaisijan vaikutus tilavuuspainoon ja polttoaineenkulutukseen muuttuvakammioisella paalaimella	36
6.4 Silppuriterien vaikutus paalin painoon ja paalauksen polttoaineenkulutukseen	36
7. Johtopäätökset	38
8. Kiitokset	39
Lähteet	40
Liitteet	42

Lyhenteet

KK kiinteäkammioinen paalain

MK muuttuvakammioinen paalain

1. Johdanto

Suomen yli kahdesta miljoonasta viljellystä pellohehtaarista rehunurmea viljeltiin 782000 hehtaarin alalla vuonna 2019 (Luke 2019). Karkearehun korjuumenetelmät ovat kehittyneet karjatilojen tilojen kehityksen tahdissa. Tänä päivänä korjuumenetelminä käytetään yleisimmin pyörö- ja kanttipaalaimia, noukinvaunua, tarkkuussilppuria, silppurivaunua ja ajosilppuria (Työtehoseura 2018). Myös kelasilppureita ja pieniä kovapaalaimia käytetään edelleen, mutta niiden käyttö on vähentynyt merkittävästi tilakoon kasvaessa. Rehua tarvitsevia lihanauta tai maitotiloja oli Suomessa vuonna 2010 vajaat viisitoistatuhatta. Vuonna 2019 lukumäärä oli pudonnut alle yhdeksään tuhanteen (Luonnonvarakeskus 2018). Samalla lihan ja maidon tuotanto on säilynyt lähes samalla tasolla. Tämä tarkoittaa, että jäljelle jäävien tilojen on tehtävä työt entistä tehokkaammin, kun työtä tehdään pienemmällä työvoimalla.

Pyöröpaalain on yleinen kone maatilan omassa käytössä, mutta paalausta tehdään merkittävästi myös urakointina muille tiloille. Pyöröpaalain on hyvä ja joustava ratkaisu rehun korjaamiseen (Much & Shinnars 2001) erityisesti silloin, kun pellot ovat pieniä ja lohkot sijaitsevat kaukana tilakeskuksesta, tai kun tilalla on rajallinen määrä työvoimaa rehun korjuutöihin. Paalauksessa ei ole välttämätöntä sadonkorjuun yhteydessä siirtää paaleja tilalle, vaan ne voidaan kerätä kiireettömämmin pellolta sadonkorjuun jälkeen. Paalit voidaan kuljettaa tilalle myös esimerkiksi talvella, kun maa on jäässä, jolloin peltoon ei kohdistu yhtä suurta räsitystä paalikärrystä ja paalien lastaamisesta. Uusien pyöröpaalainten myynnin arvo vuonna 2019 oli arviolta 16 miljoonaa euroa, mikä vastaa esimerkkinä 80000 euron keskihinnalla noin 200 paalaimen vuosimyyntiä (Suullinen tiedonanto Anders Vahtola 9.4.2020). Tästä näkökulmasta paalauksen energiankulutus ja paalaustyön onnistuminen ovat oleellisia tekijöitä hyvin monelle suomalaiselle tilalle. Valion maidontuottajien teettämät analyysit osoittavat, että rehuanalyysseja teettäneistä tiloista 72 % käyttää pyöröpaaleja vähintään toissijaisena rehunkorjuumenetelmänä (Sähköposti keskustelu Laura Nyholm Valio 27.04.2020). Jos Valion tuottajien pyöröpaaleja käyttävien tilojen osuus kuvastaa yleistä trendiä niin, pyöröpaaleja käyttäviä tiloja oli Suomessa 2019 noin 6500.

Pyöröpaalaimen käyttötarkoitus on kerätä erilaisia materiaaleja pellolta. Yleisimmin pyöröpaalainta käytetään säilörehun, kuivan heinän ja oljen keräämiseen. Paalikone kerää materiaalin karholta sylinterin muotoiseen kammioon, jossa paalin ympärille kiedotaan sidontamuovi tai -verkko, kun paali on saavuttanut täyden kokonsa. Sidonnan jälkeen paali voidaan päästää ulos paalikammioista, josta paali siirtyy joko suoraan saman koneen yhteydessä olevalle käärijälle tai maahan. Osa paalaimista on ensin mainitun kaltaisia yhdistelmäpaalaimia, joilla voidaan tehdä paalauksen lisäksi myös käärintä. Perinteisellä yksikköpaalaimella voidaan suorittaa ainoastaan paalaus. Pyöröpaalauksen yhtenä

tärkeimpänä tavoitteena on tehdä mahdollisimman tiivis paali. Tiiviiseen paaliin mahtuu enemmän materiaalia ja materiaali säilyy paremmin (Much 2006).

Tiivis paali vähentää myös muovikustannuksia ja helpottaa paalien käsittelyä sekä varastointia (Kervinen ja Suokannas 1993). Paalin tiivistyminen tapahtuu paalikammiossa, jonka tyyppi vaikuttaa tiivistämisen mekaniikkaan. Yleisimmät kammiotyypit ovat kiinteäkammio ja muuttuvakammio. Molempia paalaimia on yleisesti käytössä ja niillä on omat kannattajakuntansa. Monesti paalaimen valinta perustuu käyttötarkoitukseen ja siihen, että tiedetään toisen kammiotyyppin soveltuvan paremmin omaan käyttötarkoitukseen, tai pidetään tietynlaisen paalaimen olevan luotettava tai helppokäyttöinen. Muuttuvakammioinen paalain valitaan, jos halutaan tehdä toisinaan eri kokoisia paaleja ja yleensä muuttuvakammioisilla paalaimilla voidaan tehdä halkaisijaltaan isompia paaleja, kuin kiinteäkammioisella. Kiinteäkammioisen paalaimen paalin kokoa ei voi juurikaan säätää.

Paalin tiivistäminen paalauksen aikana vaatii energiaa, joka syötetään paalaimeen traktorista voimanulosottoakselilla. Paalainten traktorilta vaatima tehon tarve on erilainen riippuen paalaimen kammiotyypistä (Freeland ja Bledsoe 1988).

Tässä tutkimuksessa punnittiin paalin painoja ja mitattiin polttoaineenkulutusta, mutta se mitä paalin tiivistäminen ja miten ominaisuuksiltaan erilaiset paalit vaikuttavat niiden käyttämiseen jätettiin tutkimuksen ulkopuolelle. Polttoaineenkulutuksesta laskettiin paalaimen tehontarve. Punnituksilla ja rehunäytteillä laskettiin paalien tilavuuspainot.

Turun Konekeskus Oy toimi tutkimuksessa työn tilaajana ja toimitti kaksi paalainta vetotraktorin ja mittalaitteiston tutkimusta varten. Turun Konekeskus Oy:n intressi tutkimuksen tekemiseen oli selvittää, ovatko käsitykset erilaisten paalainten ominaisuuksista oikeita, ja että asiakkaille voitaisiin tarjota käyttötarkoitukseen sopivaa konetta perustuen kokeelliseen tutkimukseen. McHale on ollut pitkään Turun Konekeskuksen myynnissä ja se on markkinaosuudeltaan suurin paalainmerkki Suomessa. Pitkän historian ansiosta pyöröpaalaimista on yrityksessä vuosien kokemus ja paaleja on ennenkin punnittu, mutta kahta uutta eri periaatteella toimivaa konetta ei ollut tutkittu rinnakkain samoissa olosuhteissa. Tässä kokeessa tilaajalle ja paalikoneen käyttäjälle oli kiinnostavaa se, että erottuvatko koneet merkittävästi edukseen jossakin tietyssä olosuhteessa. Paalikonetta tarvitsevalle asiakkaalle pitää osata tarjota oikeanlainen kone olemassa olevaan tarpeeseen. Tässä tutkimuksessa pyrittiin löytämään vastauksia juuri paalikoneen käyttäjää kiinnostaviin tutkimuskysymyksiin, joihin uuden koneen valintaa voisi perustua.

2. Taustaa paalauksesta

2.1 Pyöröpaalaus

Pyöröpaalainta on käytetty yleisesti biomassan keräämiseen 1970-luvulta lähtien (Freeland ja Bledsoe 1988). 1990-luvulla paalaimet alkoivat soveltua kuivan materiaalin lisäksi myös säilörehun korjuuseen (Kervinen ja Suokangas 1993). Alkuaikoina pyöröpaalaimilla kerättiin pääasiassa kuivia materiaaleja, kuten esimerkiksi kuivaa heinää ja olkia. Pyöröpaalainten tekniikka on kehittynyt merkittävästi. Esimerkiksi telojen laakerit ja itse telat sekä runko ja voimansiirto kestää tänä päivänä suurempia kuormia, kuin 1980-luvun paalaimet. Tällöin paaleihin saadaan enemmän painetta ilman, että koneen luotettavuus kärsii. Paalaimissa on myös yleistyneet tehokkaammat silppurit ja sullojat, mitkä osaltaan tehostaa paalausta ja parantaa työn laatua. Pyöröpaalain toimii edelleen säilörehun ja heinän korjuumenetelmänä ympäri maailmaa. Pyöröpaalain on joustava sadonkorjuuväline silloin, kun työvoimaa on rajallisesti käytettävissä tai pellot ovat toisistaan hajallaan. Pyöröpaalaus ei ole tehokkain tapa korjata rehua, mutta korjuuketju toimii erittäin pienellä työvoimalla ja paalaimella työskentely ei pakota siirtämään materiaalia paalauksen yhteydessä, vaan paalit voidaan jättää käärittyinä pellolle. Paalauksessa pärjätään myös melko pienellä kalustolla verrattuna esimerkiksi ajosilppuriketjuun. Paalaimelle on myös oma paikkansa pienien yksittäisten satojen tai peltujen korjuussa, jota varten ei kannattaisi aloittaa uuden siilon täyttämistä. Nykyaikainen paalain toimii laajalti eri kuiva-ainepitoisuus alueilla (Muck & Shinnars 2001).

Paalaimen tarkoitus on kerätä biomassaa sisäänsä ja puristaa massa tiukaksi lieriöksi, jonka jälkeen paalin ympärille kiedotaan verkko tai muovi. Sidonnan jälkeen paali voidaan, käyttötarkoituksesta riippuen, säilöä tai käyttää sellaisenaan tai se voidaan kääriä muoviin säilymisen parantamiseksi.

Pyöröpaalaimet voidaan jakaa kahteen päätyyppiin paalaimen kammiotyyppin mukaan: muuttuvakammioisiin ja kiinteäkammioisiin. Muuttuvakammioiset paalaimet on yleensä toteutettu kumisilla hihnoilla, mutta on myös olemassa paalaimia, joissa on erityinen kolaketju hihnan sijasta. Kiinteäkammioisten paalainten kammio on toteutettu teloilla, jotka ovat nimensä mukaan kiinteästi kiinnitetty kammion ulkokehälle. Kammiotyyppi vaikuttaa oleellisesti paalaimen rakenteeseen ja toimintaperiaatteeseen.

2.1.1 Yhdistelmäpaalain

Uusista pyöröpaalaimista suurin osa on nykyään yhdistelmäpaalaimia. Yhdistelmäpaalaimessa yhdistyy paalain ja paalinkäärijä niin, että samalla laitteella voidaan tehdä molemmat työvaiheet. Yhdistelmäpaalaimessa käärijä on sijoitettu heti

paalikammion taakse (Kuva 1.). Nykyisissä yhdistelmäpaalaimissa käärijä ei yleensä hidasta paalaustyötä muuten kuin uusien käärintämuovien vaihtamisen verran. Yhdistelmäpaalaimen suurimpia etuja on se, että yhdellä koneella voidaan tehdä kaksi työvaihetta, sekä se, että paali kääritään välittömästi paalauksen jälkeen. Nopeasti tehty käärintä parantaa paalin säilyvyyttä (Kervinen ja Suokannas 1993).



Kuva 1. Kiinteäkammioinen yhdistelmäpaalain siirtää sidotun paalin käärijälle, jonka jälkeen kuvassa oleva avonainen kammiio sulkeutuu ja uuden paalin tekeminen voidaan aloittaa ja siirrettyä paalia voidaan alkaa kääriä. (Kuva McHale. Lupa kuvan julkaisuun saatu)

2.2 Paalaimen toimintaperiaate

Pyöröpaalain nostaa noukkimella (Kuva 2) paalattavan materiaalin sullojalle, joka työntää materiaalin kammioon usein silppuavien terien (Kuvat 8 ja 9) läpi. Kammiotyyppistä riippumatta suurin osa paalaimista toimii tällä tavalla. Paalain voi olla varusteltu silppuriterillä tai kokonaan ilman teriä. Terien määrä vaihtelee paalaimen mallista ja merkistä riippuen (McHale 2019). Kammioon päätynyttä materiaalia pyritään tiivistämään. Tiivistäminen on olennainen osa paalausprosessia. Paalin tiivistäminen on toteutettu muuttuvakammioisessa ja kiinteäkammioisessa paalaimessa eri tavalla.



Kuva 2. Paalaimen noukin ja silppurin roottori. Noukkimen avulla materiaali kerätään pellon pinnasta ja syötetään roottorille, joka sulloo materiaalin terien läpi ja kammion sisälle. (Kuva McHale. Lupa kuvan julkaisuun saatu)

2.2.1 Kiinteäkammioinen pyöröpaalain

Kiinteäkammioinen paalain perustuu sylinterin muotoisen kammion ulkokehälle sijoitettuihin teloihin (Kuva 3). Teloja pyöritetään niiden päissä olevien hammasrattaiden ja rullaketjuvoimansiirron avulla (McHale 3 2019). Paalattava materiaali pyörii kammiossa. Kun materiaali täyttää koko kammion, alkaa kammio tiivistää materiaalia. Sulloja työntää materiaalia kammioon niin kauan kunnes traktori pysäytetään. Paalin tiiviys riippuu siitä, missä vaiheessa materiaalin syöttö lopetetaan. Paalin valmistumiseen ja kammion lukitusmekanismiin on eri valmistajilla olemassa erilaisia ratkaisuja. Kammion lukitusmekanismi on McHale-paalaimissa toteutettu hydraulikkasyylintereillä, joihin muodostuva paine vastustaa kammion avautumista ja ylläpitää paalikammion painetta paalin täytyessä. Paalin tuottaessa riittävän paineen kammioon, alkaa kammion luukku avautumaan. Paalin valmistuminen määritetään anturilla mittaamalla kammion avautumaa ja asettamalla sille suurin mahdollinen avautuma, jolloin paalain ilmoittaa paalin valmistumisen ja aloittaa sidontaverkon tai muovin syöttämisen. (McHale 1 2019)



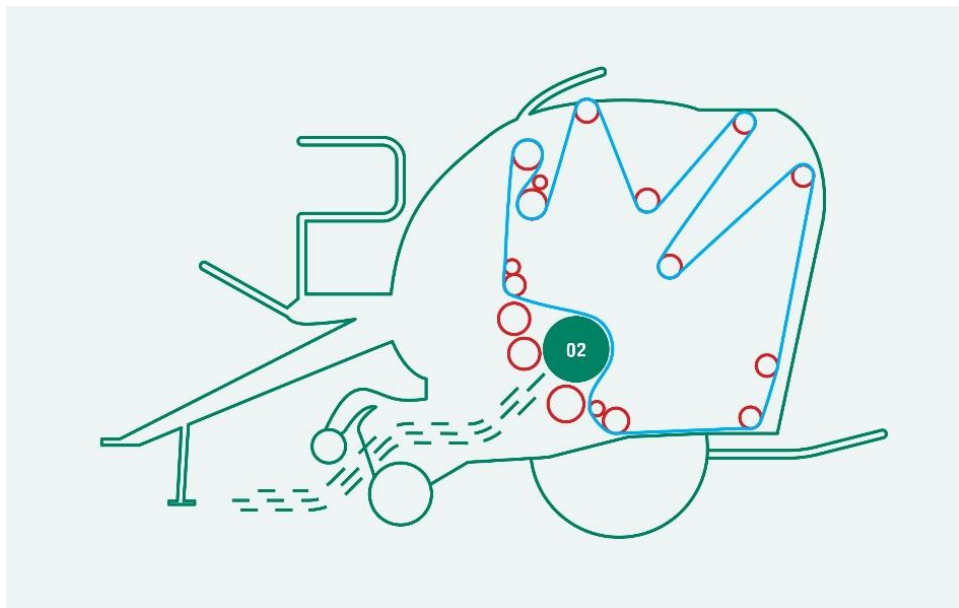
Kuva 3. Kiinteäkammioisen paalaimen kammio koostuu teloista ja kammion seinistä. Kuvassa kammio avattuna. (Kuva McHale. Lupa kuvan julkaisuun saatu)

2.2.2 Muuttuvakammioinen pyöröpaalain



Kuva 4. Muuttuvakammioisen pyöröpaalaimen erottaa myös koneen ulkopuolelle näkyvästä yhdestä tai useammasta remmistä, joka muodostaa kammion. Pääosin muuttuvakammioinen ja kiinteäkammioinen paalain näyttävät kuitenkin samalta. (Kuva McHale. Lupa kuvan julkaisuun saatu)

Muuttuvakammioinen paalain (Kuva 4) puristaa paalattavaa materiaalia paalin muodostumisen alusta asti. Tämän ansiosta muuttuvakammioisen paalaimen paalit ovat tiukkoja ytimeistä asti (Kervinen ja Suokannas 1993). Muuttuvakammioinen paalain perustuu yhteen tai useampaan rinnakkain olevaan hihnaan (Kuva 5.), jotka kiristävät paalattavaa materiaalia paalin muodostuksen alkuvaiheesta asti. Hihnojen kiristimillä säädetään kammion kokoa aktiivisesti paalauksen aikana. Kammion koko siis kasvaa paalin koon kasvaessa. Kammion koon kasvamista vastustamalla säädetään paalin kireyttä. Muuttuvakammioisessa paalaimessa paalin kokoa voidaan muuttaa. Paalikammio kostuu yhdestä tai useammasta hihnasta (Kuva 5. sininen viiva), joka kulkee telojen kautta muodostaen kammion, johon materiaalia pakataan. Toisin kuin kiinteäkammioinen paalain, muuttuvakammioinen paalain alkaa puristaa ja tiivistää paalia jo paalin muodostuksen alkuvaiheessa. Myös koneen tehontarve jakautuu eri tavalla, kuin kiinteäkammioisella paalaimella, johtuen muuttuvakammioisen paalaimen pidemmästä tiivistysajasta.



Kuva 5. Muuttuvakammioinen paalain, jossa sinisellä näkyy hihna, punaisella telat. Vihreä ympyrä on paali, jonka muodostuminen on alkuvaiheessa. Muuttuvakammioinen paalain kiristää paalia jo tässä vaiheessa. (Kuva McHale. Lupa kuvan julkaisuun saatu)

2.2.3 Suurkanttipaalain

Suurkanttipaalain (Kuva 6.) on Suomessa harvinaisempi, kuin esimerkiksi Keski-Euroopassa, Yhdysvalloissa ja Kanadassa. Suurkanttipaalaimen etu pyöröpaalaimiin on suurempi työsaavutus, joka johtuu paalaimen ajon aikana toimivasta sidontajärjestelmästä. Suurkanttipaalainten tekee yleensä tiiviimpiä paaleja ja sen työsaavutus on yleensä suurempi kuin pyöröpaalaimella.

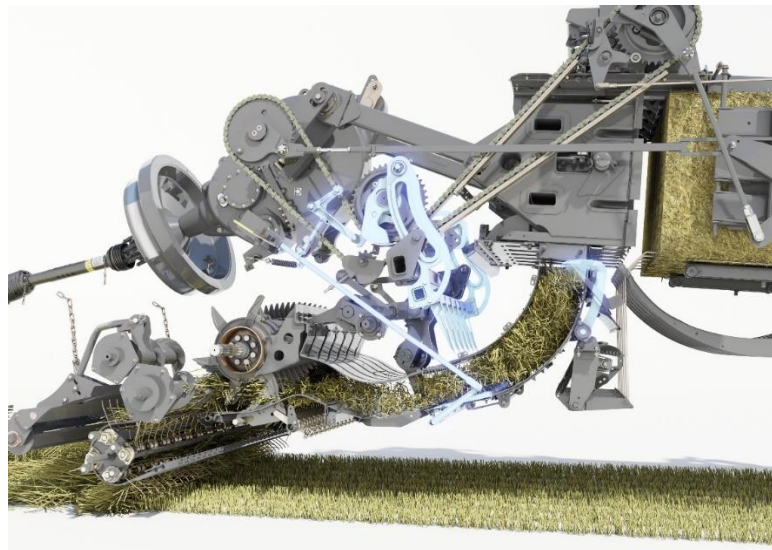


Kuva 6. Massey Ferguson 2279 XD suurkanttipaalain. Kanttipaalain eroaa pyöröpaalaimesta ulkoisesti. (Kuva Massey Ferguson. Lupa kuvan julkaisuun saatu)

Suurkanttipaalaimen toiminta poikkeaa merkittävästi pyöröpaalaimista. Suurkanttipaalaimen noukin on saman tyyppinen kuin pyöröpaalaimissa, mutta muuten tekniikoissa ei ole paljoa yhtäläisyyksiä. Noukkimen jälkeen kanttipaalain syöttää materiaalin esikammioon, josta materiaali syötetään varsinaiseen kammioon. Pääkammiossa oleva mäntä iskee materiaalin jo kammiossa olevaa materiaalia kohti, tiivistäen ja työntäen paalia kammiossa eteenpäin (Kuva 7.) Kammio on kanttipaalaimessa nimensä mukaan suorakaiteen muotoinen. Paalin tiivistys toteutetaan puristamalla kammion seiniä vasten muodostuvaa paalia, joka vastustaa paalin liukumista paalaimen perästä ulos. Paalin tiiviyyttä säädetään muuttamalla kammion seinämiä puristavien sylintereiden painetta (Massey Ferguson 1 2020). Kanttipaalaimen etuihin voidaan lukea suuren työsaavutuksen lisäksi suorakulmaisen särmiön muotoiset paalit, jotka ovat logistiikan kannalta tehokkaampia kuin, sylinterin muotoiset paalit. Kanttipaaleja voidaan

pinota kuorma-autoon, traktorin peräkäräryille tai laivarahtiin, ilman että jää tyhjää tilaa kuorman sisään.

Tyypillinen suurkanttipaali on esimerkiksi 120 cm leveä, 90 cm korkea ja pituus noin 200 cm. Paalin pituus on yleensä säädettävissä tarpeen mukaan. Esimerkin mukaisen paalin kuiva-aine tilavuuspaino 200 kg/m 500 g/kg kuiva-ainepitoisuudessa tarkoittaisi paalin painon olevan 864 kg. Paalien mitat vaihtelevat paalikoneen mallien välillä. Kaikilla valmistajilla on tarjolla erilaisia vaihtoehtoja. Suurkanttipaalaimen tehontarve on yleensä merkittävästi suurempi kuin pyöröpaalaimilla. 112 – 134 kW ilman silppuria (Massey Ferguson 2 2020), joka lisää tehon tarvetta vielä kymmenillä kilowateilla. McHale:n ohjekirjojen mukaan koneiden tehontarpeet on kiinteäkammioiselle paalaimelle 80 kW ja muuttuvakammioiselle paalaimelle 85 kW (McHale 1 2019) (McHale 2 2019), Suurkanttipaalainta ei tässä tutkimuksessa käsitellä tarkemmin, koska kokeessa on tarkoitus keskittyä pyöröpaalaimiin.



Kuva 7. Suurkanttipaalaimen pääosat havainnekuvassa. Mekaniikka poikkeaa merkittävästi pyöröpaalaimen mekaniikasta. (Kuva Massey Ferguson. Lupa kuvan julkaisuun saatu)

2.2.4 Paalin tiivistäminen ja tilavuuspaino

Kiinteäkammioisella paalaimella paaliin tiiviys riippuu siitä, missä vaiheessa materiaalin syöttö lopetetaan. Paalin valistumiseen on eri valmistajilla olemassa erilaisia ratkaisuja. McHale:n kiinteäkammioisessa paalaimen ratkaisussa kammion avautumista, paalin aiheuttaman paineen takia, vastustetaan hydrauliikkasyylintereillä, joihin on asetettu

esipaine. Sylinterit estävät kammion avautumisen. Lopullinen paine määrätään kammioluukun avautumaa säätämällä. Kammion avautuessa käyttäjän määräämän verran paalain ilmoittaa, että paali täynnä on ja aloittaa sidonnan asetetulla viiveellä. Paalin kokoa voidaan säätää hieman kammion avautumaa kasvattamalla. Avautumaa ei voida lisätä määrättömästi, sillä kammion luukun raosta alkaa varisemaan materiaalia, kun avautuma on liian suuri. Kammion avauman suurin suuruus riippuu olennaisesti paalattavan materiaalin ja siitä tehdyn silpun pituudesta. Muuttuvakammioisella paalaimella vastaavaa ongelmaa ei ole, sillä kammio ei avaudu paalin täyttyessä, vaan kammion koko kasvaa. Muuttuvakammioisen paalaimen kammion koko muuttuu paalin kehityksen aikana. Paalin tiivistystä säädetään kammion tilavuuden kasvamisesta vastustavien hydraulikka sylintereiden avulla. Vastustavan hydraulikan painetta säätämällä voidaan kasvattaa tai laskea paalin tiivistymisen määrää.

Tilavuuspainojen vertailua oli tehty 1990-luvulla, jolloin koneet eivät olleet aivan vastaavia kuluvan vuosikymmenen koneisiin nähden. Paalien tiheys Kervisen ja Suokannaksen 1993 tutkimuksessa oli 30 % - 50 % kuiva-ainepitoisuuksilla noin 150 – 200 g/kg KA, joka on melko kilpailukykyinen tämän päivän paalikoneisiin nähden, mutta paalintekemiseen kulutettu aika oli tutkimuksessa 3 minuuttia ja 38 sekuntia. Tällä hetkellä pyöröpaalaimet on suunniteltu niin, että paalaimen työsaavutus on noin 50 – 60 paalia tunnissa (McHale 3 2019), jolloin yhden paalin tekemiseen kuluva aika on 60 sekunnin ja 83 sekunnin välillä. Kervisen ja Suokannaksen mukaan muuttuvakammioinen paalain teki 10 - 20 % tilavuuspainoltaan suuremman paalin. Tremblay ym. 1997 tutkimuksessa muuttuvakammioinen paalain teki tilavuuspainoltaan suuremman paalin.

Taulukko 1. Keskimääräinen kosteus, paalin kuiva-ainemassa, kuiva-aine tilavuuspaino kokeen eri osissa. (Muokattu kohteesta Tremblay ym. 1997)

Paalaintyyppi	Paalattava materiaali	Kuiva-ainepitoisuus (g/kg)	Paalin kuiva-ainemassa (kg KA)	Tilavuus (m³)	Tilavuuspaino (kg/m³ KA)
MK ilman teriä	Kuiva heinä	833	238,5	1,57	151,9
	Esikuivattu	471	295,8	1,58	187,2
	Säilörehu	378	272,0	1,67	162,9
KK ilman teriä	Kuiva heinä	100	251,6	1,59	158,2
	Esikuivattu	799	300,7	1,57	191,5
	Säilörehu	352	236,1	1,60	147,6
KK 14 terällä	Kuiva heinä	836	265,4	1,61	164,8
	Esikuivattu	441	260,9	1,56	167,2
	Säilörehu	362	251,8	1,63	154,5

Pyöröpaali voi olla muihin rehunkorjuumenetelmiin verrattuna tiivis pakkaus, sen kuiva-aine tilavuuspainon ollessa parhaimmillaan yli 200 kg/m³ KA, sillä NurmiArtturi-hankeessa aumassa ja siilossa säilöttyjen rehujen tilavuuspainot olivat noukinvaunulla, ajosilppurilla ja tarkkuussilppurilla tehtyjen rehujen kuiva-aine tilavuuspainot olivat pääasiassa 150 kg/m³ ja 250 kg/m³ välillä (NurmiArtturi-hanke 2014). Ajosilppurilla tehdyt rehut olivat tiivistyneet ProAgrian 2014 kokeissa selkeästi paremmin ja suurin osa näytteistä oli tilavuuspainoltaan 200 kg/m³ ja 350 kg/m³ välillä. Siiloon tai aumaan tiivistetty rehu voi olla siis tiiviimmin pakattua kuin paaleissa, mutta myös löyhemmin pakattua.

2.2.5 Paalauksen tehontarve ja energian kulutus

Kammiotyyppi vaikuttaa merkittävästi paalauksen eri vaiheissa vaatimaan tehoon. (Tremblay ym. 1997). Kiinteäkammioinen tiivistää rehua heikosti ennen, kuin kammio täyttyy ja materiaali alkaa puristua teloja vasten. Tämän vuoksi kiinteäkammioisen pyöröpaalaimen tehontarve kasvaa paalin täytyessä. Tremblay ym. 1997 mukaan sen aikaisen kiinteäkammioisen pyöröpaalaimen vaatima ulosottoteho säilörehupaalin täytyessä ja ilman teriä oli 38,6 kW, kun muuttuvakammioisen paalaimen vastaava luku oli vain 16,0 kW. Teriä käytettäessä kiinteäkammioisen paalaimen tehontarve kasvoi 42,8 kilowattiin. Muuttuvakammioisen paalaimen tehontarve on matalampi, eikä se aiheuta merkittävää piikkiä tehontarpeeseen paalin täytyessä. Tosin McHale-paalainten tuotesivuilla olleet tehontarpeet oli ilmoitettu niin, että muuttuvakammioinen vaatisi 5 kW enemmän voimanottotehoa kuin kiinteäkammioinen. Koneiden valmistajan ilmoittamat tehontarpeet on esitetty liitteessä 1.

3. Tavoitteet ja hypoteesit

Tutkimuksen päätavoitteena on selvittää miten paalaimen kammiotyyppi vaikuttaa muodostuvan paalin tiheyspainoon ja miten paalaimen kammiotyyppi vaikuttaa paalauksen energiankulutukseen sekä tehontarpeeseen. Samalla on myös tavoitteena testata muuttuvakammioisella paalaimella suuren säilörehupaalin tekemistä ja paalin koon vaikutusta tilavuuspainoon ja paalauksen energiankulutukseen, sekä selvittää paljonko terien käyttäminen vaikuttaa paalin tilavuuspainoon ja paalauksen energiankulutukseen. Tavoitteena on saada tulos, jonka perusteella voitaisiin valita sopiva paalain käyttötarkoituksen mukaan.

Oletuksena oli, että kiinteäkammioinen paalain olisi pystynyt tekemään kosteassa olosuhteessa tilavuuspainoltaan suurempia paaleja kuin muuttuvakammioinen paalain. Oletus perustuu siihen, että kiinteäkammioista konetta käytetään usein säilörehun tekoon. Muuttuvakammioisen koneen oletettiin toimivan paremmin ja tekevän tilavuuspainoltaan suurempia paaleja. Tämä oletus perustuu siihen, että muuttuvakammioinen tekee kuivastakin materiaalista keskeltä asti tiiviin paalin, koska se tiivistää paalia paalin muodostuksen alkuvaiheista asti. Kosteaa rehua odotettiin tiivistyvän kiinteäkammioisella koneella paremmin. Silppuriterien käyttämisen oletettiin lisäävän paalin painoa ja paalauksen energian kulutusta. Terien käyttäminen lisää paalaimen tekemää työtä, joka lisää polttoaineen kulutusta. Silputun rehua uskottiin tiivistyvän paremmin kammiossa, jolloin paalin tilavuuspainon pitäisi nousta. Suuren säilörehupaalin, halkaisijaltaan noin 140 cm, tekemisen muuttuvakammioisella paalaimella oletettiin nostavan paalauksen energiankulutusta paalattua rehukiloa kohti, sillä kammiossa joudutaan pyörittämään merkittävästi suurempaa massaa, kuin pienemmällä paalilla.

Kokeissa paalattavan materiaalin haluttiin olevan esikuivattua säilörehua, mikä on Suomessa yleinen tapa korjata rehua. Otanta haluttiin kattavaksi kosteusalueella 300 g/kg – 500 g/kg, mikä on suositeltava kosteus käärittävälle esikuivatulle säilörehulle (Suokannas 1993) (Much ja Shinnars 2001).

4. Aineisto ja menetelmät

4.1. Tutkimuksessa käytetyt paalaimet

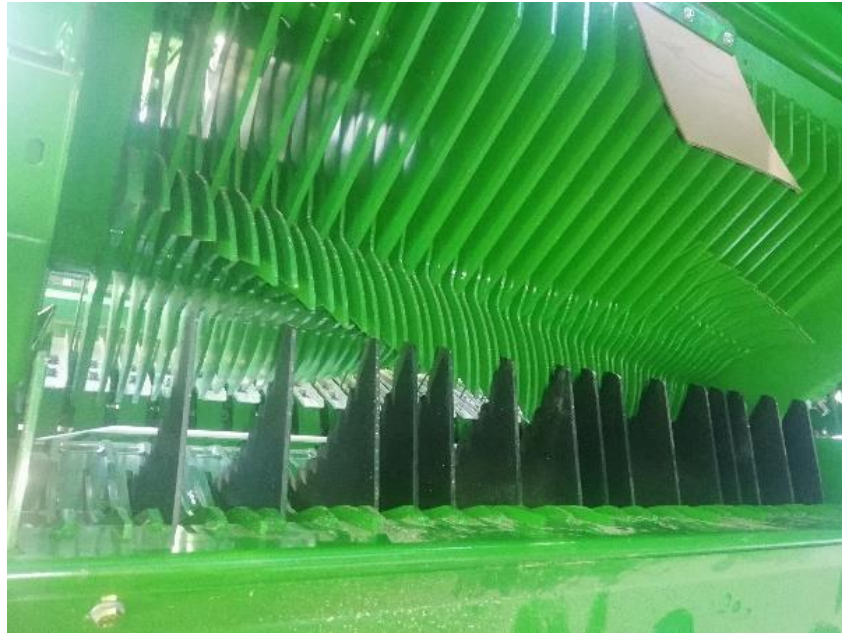
Tutkimus toteutettiin 2019 ensimmäisen rehunteon yhteydessä 11.6. Tutkimuksessa käytettiin kahta uutta McHale yhdistelmäpaalainta. Paalaimet tulivat maahantuoja Turun Konekeskuksen varastosta. Molemmat koneet olivat käyttämättömiä ja vuosimalliltaan 2019. Koneissa oli hyvin vastaava tekniikka, lukuun ottamatta kammiotyyppiä, joka oli tämän tutkimuksen tutkimuskohteena, sekä kiinteäkammioisessa paalaimessa olevaa muovisidontaa, jota ei kokeissa käytetty. Kiinteäkammioinen paalain oli McHale Fusion 3 + ja muuttuvakammioinen paalain oli McHale Fusion Vario. Koneiden ominaisuudet on tarkemmin eritelty liitteessä 1. Koneisiin perehdyttiin ohjekirjan ja Turun Konekeskuksen McHale teknisen tuen Timo Kapasen avustuksella.

4.1.1. Paalainten säätäminen

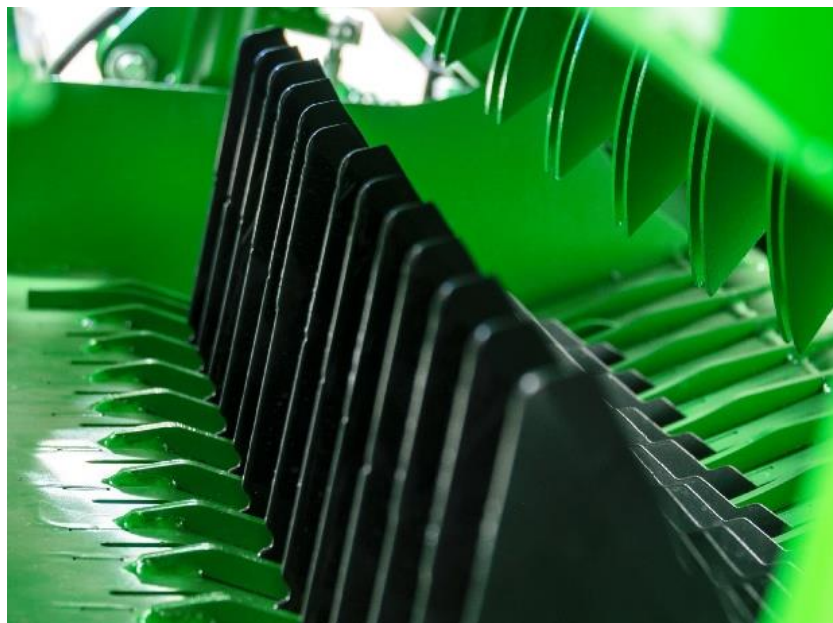
Molemmat koneet kytkettiin samaan traktoriin, jossa oli valmiina Power Beyond -liitäntä mahdollisuus, joten koneen hydraulikkajärjestelmä kytkettiin tähän jatkuvakiertoiseen öljyn tarvetta tunnustelemaan linjaan. Valmistajan mukaan tällä ratkaisulla voidaan säästää tehontarpeessa jopa 20 kW verrattuna kuormantuntevaan järjestelmään, jossa öljyä pumpataan linjaan riippumatta öljyn tarpeesta. Kone käyttää automatiikan avulla hydraulikkaa normaalissa työskentelyssä kammion käyttämiseen, paalin siirtoon, käärintään ja paalin pudottamiseen. Molemmat koneet säädettiin ja toiminta tarkastettiin mittausta edeltävänä päivänä. Molemmat koneet säädettiin tiukkuuden osalta valmistajan suosittelemaan maksimi säätöön. Kiinteäkammioisessa koneessa kammion avautuma jätettiin 8/10 asentoon, jotta kammion raosta ei tulisi materiaalia. Koetta ennen tehdyissä kokeissa todettiin kammion raosta tulevan materiaalia paalin muodostuksen loppuvaiheessa kammion avutuman ollessa 10/10. Vallinneissa olosuhteissa oli mahdollista käyttää tiukkuuden maksimi säätöjä ja paalaus onnistui näillä säädöillä molemmilla koneilla ilman ongelmia.

Kiinteäkammioisen koneen tiukkuuden säätöä voidaan tehdä ohjaamosta kymmenen portaisella asteikolla, mutta sen lisäksi koneeseen tulee tehdä esisäätö, jolla asetetaan esipaine kammion avautumista vastustaviin sylintereihin. Koneetta käyttöönotettaessa esipaine oli jo oikeassa säädössä, joten sitä ei tarvinnut muuttaa. Sylinterien paine näkyi paalaimen etuosassa olevasta painemittarista. 170 bar on valmistajan suoritteleva esipaine, jota myös käytettiin tutkimuksessa. Kammion avautuma vaikuttaa paalin halkaisijan lisäksi myös paalikammioon muodostavaan paineeseen. Riippuen paalattavasta materiaalista kammio voidaan säätää avautumaan kymmenen portaisella asteikolla. Jos materiaali on lyhyttä, voi kammion raosta suurimmalla säätöarvolla varista rehua maahan, mikä ei ole hyväksyttävää. Tässä kokeessa rehua silputtiin tasavertaisuuden vuoksi vain 15

terällä, sillä muuttuvakammioisessa koneessa ei ollut enempää teriä (Kuva 9.). Teriä ei saatu aivan tasajaolle, sillä kone on tarkoitettu käytettäväksi 12, 13 tai 25 terällä (Kuva 8).



Kuva 8. Kokeessa käytetyn kiinteäkammioisen paalaimen 15 terää hieman epätasaisella jaolla. Tasavertaisuuden vuoksi 25 terästä otettiin 10 terää pois, koska muuttuvakammioisessa paalaimessa oli vain 15 terää.



Kuva 9. Kokeessa käytetyn muuttuvakammioisen paalaimen terät, kaikki 15 terää ylhäällä. (Kuva McHale. Lupa kuvan julkaisuun saatu)

Muuttuvakammioisen paalaimen säätäminen tapahtui ohjaamosta koneen terminaalin avulla. Erona kiinteäkammioiseen koneeseen oli se, että paalista voitiin säätää erikseen ytimen ja ulkokehän tiukkuus. Kokeissa molemmat tiukkuudet säädettiin arvoon 10/10.

4.2. Tutkimuksessa käytetty traktori

Tutkimuksessa käytetty traktori oli esittelykäytössä ollut Massey Ferguson 7718 S Dyna VT, jolla oli ajettu tutkimuksen tekovaiheessa noin 200 tuntia ja se oli valmistettu 2018. Traktori valikoitiin niin, että se täyttää paalainten tehontarpeen helposti, ettei se aiheuttaisi epävarmuutta ja epätarkkuutta vertailussa. 7718 S mallin ilmoitettu suurin teho on 129 kW ja lisäteholla 147 kW (Turun Konekeskus 2019). Traktorissa oli portaaton vaihteisto, joka soveltui hyvin paalikoneen vetämiseen. Lisäksi traktorissa voitiin käyttää kierroslukumuistia ja nopeuden esiasetusta, jolloin nopeus saatiin pysymään samana eri kokeissa.

4.3. Tutkimuksessa käytetyt mittalaitteet ja mittausmenetelmät

4.3.1 Paalien analysointi

Paaleja tehtiin molemmilla koneilla kolmessa eri kosteusolosuhteessa. Lisäksi kiinteäkammioisella paalaimella testattiin paalin painon muutosta, kun käytetään 25 terää tai ei käytetä teriä ollenkaan. Muuttuvakammioisella paalaimella kokeiltiin paalin koon kasvattamista 130 senttimetristä 145 senttimetriin.

Koepaalit merkattiin heti erän paalaamisen jälkeen tussilla käärintämuoviin. Koejäseniin tehtiin vähintään kuusi toistoa. Osaan mittauksista tehtiin enemmän, jos tilanteessa oli helppo tehdä pidempi mittaus. Tämä tehtiin siinä tapauksessa, jos tasalaatuista karhoa riitti kuuden toiston jälkeen.

Paalien painot punnittiin koukkuvaa'alla, joka kiinnitettiin paalipihdin runkoon. Paali nostettiin paalipihdillä liinojen päälle, jotka nostettiin kiinni koukkuvaa'an koukkuun. Vaakana toimi digitaalinen Meganex KX6081 koukkuvaaka, joka oli tarkoitettu suurimmillaan 2000 kg painojen punnitsemiseen (Kuva 10). Vaa'an tarkkuus oli +/-1,5 kg.



Kuva 10. Paalin punnitseminen koukkuvaa'an, traktorin ja liinojen avulla.



Kuva 11. Paalin halkaisijan mittaaminen rullamitalla. Muuttuvakammioisen paalaimen ison paalin mittaaminen vaati tarkempaa arviointia, sillä paalin muoto ei ollut yhtä säännöllinen kuin kiinteäkammioisella paalaimella.

Eri kosteusolosuhteet toteutettiin niin, että paalaus tehtiin aurinkoisena, lämpimänä ja kuivana päivänä eri vuorokauden aikoihin. Niitto oli tehty koelohkoilla edellisenä päivänä klo 9.00-22.00 välisenä aikana. Eri kosteusolosuhteita edustaneet pellot niitettiin 9.00-17.00 aikana. Eri kosteutta edustavat koejäsenet tuotettiin paalaamalla ja merkitsemällä tietyt paalit kolmena eri vuorokauden aikaan paalatuilla näytteillä. Mittausten ottamisen ajoitus oli noin klo 11.00, 14.00 ja 21.20.

4.3.2 Paalauksen energiankulutuksen ja tehon tarpeen mittaus

Paalauksen polttoaineenkulutusta ja tehontarvetta mitattiin traktorin CAN-väylältä luettujen tietojen perusteella. Tietoja luettiin Turun Konekeskukselta lainatulla AGCO:n diagnostiikkatyökalulla, joka liitettiin traktorin CAN-pistokkeeseen. Laite tallensi CAN-väylältä myös tässä tapauksessa tarpeettomia tietoja. Mittaus tehtiin jokaisesta koejäsenestä. Tuotoksena mittauksesta tuli Excel-taulukko, josta hyödynnettiin hetkellistä polttoaineen kulutusta, joka mitattiin 0,1 sekunnin välein. Polttoaineen kulutuksesta piirrettiin käyrä, jonka perusteella päätettiin mitkä paalaussykliä otetaan huomioon paalikohtaista polttoaineenkulutusta määritettäessä. Sykliä päätettiin valita niin, että jokaiseen laskentaan tulee yksi päistekäännöksen sisältänyt paali tasapuolisuuden vuoksi. Päistekäännös näkyi kuvaajassa selkeästi pidempänä yhden paalin muodostuksen kestonä.

Kaikista mittauksista saatiin neljä kuvaajan perusteella onnistunutta paalaus sykliä, jossa polttoaineenkulutus käyttäytyi loogisesti, ilman suurempia epämääräisiä vaihteluita. Kaikista mittauksista otettiin neljän syklin mittainen otos, jotta kaikissa laskuissa käytetyt luvut olisivat mahdollisimman vertailukelpoisia.



Kuva 12. AGCO:n testeri, joka tallensi kokeista traktorin CAN-väylällä kulkenutta tietoa tietokoneelle. CAN-väylältä saatiin kulutustiedot, jolla laskettiin paalikohtaista polttoaineen kulutusta.

Traktorin moottorin tuottama vääntömomentti laskettiin kertomalla CAN-väylältä saadun moottorin vääntöprosentin ja moottorin suurin vääntö kyseisellä moottorin kierroslukemalla kaavassa 1 näkyvällä tavalla (Rohrer ym. 2018).

Moottorin sisäisen kitkan aiheuttamaksi häviöksi laskentaan valittiin 10 %, koska se oli CAN-väylältä mitattu kuormittamattoman moottorin vääntömomenttiprosentti.

Moottorin kierrosnopeus pysyi käytännössä vakiona kokeiden aikana. Traktorin CAN-väylältä mitattu moottorin kierrosnopeus pysytteli hyvin lähellä 1700 r/min läpi paalausyökin riippumatta paalaimesta tai olosuhteista.

Laskennassa CAN-väylältä mitatusta datasta suodatettiin pois kaikki rivit, joissa oli muuta tietoa kuin polttoaineen kulutusta. Polttoaineenkulutus mitattiin 0,1 sekunnin välein.

$$\text{Nettovääntömomentti (Nm)} = \frac{\text{Todellinen moottorin vääntöprosenttiluku} - \text{Sisäisen kitkan vääntöprosenttiluku}}{100} \times \text{Moottorin referenssivääntö (Nm)}$$

4.4. Olosuhteiden vakiointi tasavertaiseksi

Paalin muodostukseen vaikuttaa suuri määrä asioita. Tärkeimpiä ovat paalaimen säädöt, paalattava materiaali ja ajotekniikka. Paalaimen säädöillä voidaan vaikuttaa paalin muodostukseen. Molemmat tutkittavat paalaimet oli varustettu silppuriterillä. Kiinteäkammioisessa koneessa oli 25 terää ja niitä voitiin käyttää kaikkia samaan aikaan, tai 12. ja 13. terän sarjoissa. Muuttuvakammioisessa koneessa oli kiinteä 15 terän teräpaketti.

Vertailtavat kokeet tehtiin samalla loholla mahdollisimman pienellä aikavälillä, jotta karhot olisivat olleet mahdollisimman samassa tilassa koehetkellä eri paalaimilla. Kolmen eri kosteuden kokeet saatiin toteutettua saman päivän aikana siten, että ensimmäinen mittaus tehtiin niittoa seuraavana aamupäivänä heti karhotuksen jälkeen klo 11.05 ja viimeinen samana iltana klo 22.08. Paaleista otettujen analyysien mukaan paalien kuiva-ainepitoisuus kehittyi tällä välillä alun 340 g/kg lopun 530 g/kg arvoon. Kaikilla mittaukseen käytetyillä pelloilla kasvoi monipuolisia timotei-ruokonata-valtaisia nurmiseoksia, jotka olivat silmämääräisesti tasalaatuisia. Kaksi kuivimman olosuhteen koetta ja suuren paalin kokeet tehtiin neljännen vuoden nurmesta ja kuivin vertailukoe tehtiin kolmannen vuoden nurmesta. Terien käytön vaikutus paalin muodostukseen testattiin toisen vuoden nurmella. Kokeet tehtiin avoimilla paikoilla selkeissä paikoissa, jotta varjostukset ja karhojen vaihtelut olisivat mahdollisimman pieniä (Liite 2).



Kuva 13. Karhot olivat silmämääräisesti tasaisen näköisiä ja mittanauhalla mitattuna hyvin tasalevyisiä. Karhotus tehtiin niin, ettei karhottimen säätöihin koskettu sopivan säädön löytymisen jälkeen, ettei se olisi aiheuttanut vaihtelua.

Niitto oli tehty paalausta edellisen päivän aikana hinattavalla Kronen Easycut menopaluu niittomurskaimella. Niittomurskaimen työleveys oli 320 cm.

Karhottaminen on yleistynyt myös pyöröpaalauksessa, sillä se tehostaa työtä merkittävästi. Karhotettua materiaalia paalattaessa voidaan ajaa huomattavasti hitaammalla ajonopeudella, niin että työn tehokkuus on silti hyvää tasoa. Suurella karholla paalikoneen sulloja on koko ajan kuormitettuna ja terien läpi kulkee jatkuvasti reilusti tavaraa, jolloin sulloja ja terät toimivat paremmin ja silpun pituus pysyy tasalaatuisempuna. Tasaisella ja reilulla materiaalin syötöllä saadaan aikaiseksi suuri työteho ja tiiviit paalit. Kokeessa paalit valmistuivat noin 60-70 sekunnin välein. Karhotuksessa käytettiin Pöttingerin keskelle karhottavaa kaksi roottorista Eurotop 881a karhotinta, jolla yhdistettiin kolme karhoa yhdeksi.

Karhotus tehtiin paalauspäivänä ja se aloitettiin vasta juuri ennen paalausta. Karhottimen säädöt tehtiin niin, että se olisi paalaimelle optimaalinen. Optimaalinen karho on molempien koneiden ohjekirjan mukaan 150cm leveä, jolloin paali muodostuu oikean muotoiseksi ja materiaalivirta on paras mahdollinen (McHale 1. 2019). Mittanauhalla mitattuna karhon leveys oli hieman yli tämän, noin 155-160 cm. Tämä karhon leveys valikoitui koepaalausten perusteella, sillä muuttuvakammioisella koneella paalit tahtoivat olla ennemmin vähän pallon muotoisia eli keskellä paalia oli enemmän materiaalia. Kiinteäkammioisella koneella paaleista tuli tämän muotoisella karholla erittäin säännöllisiä lieriöitä, mikä on tavoiteltava paalin muoto (Kervinen ja Suokannas 1993). Molemmilla koneilla oli tehty ohjekirjan suosittelema noin 50 paalin totutusajo, jonka tarkoituksena on kuluttaa paalikammion reunojen maali niin, ettei se vaikuttaisi paalin muodostukseen ja pyörimiseen.

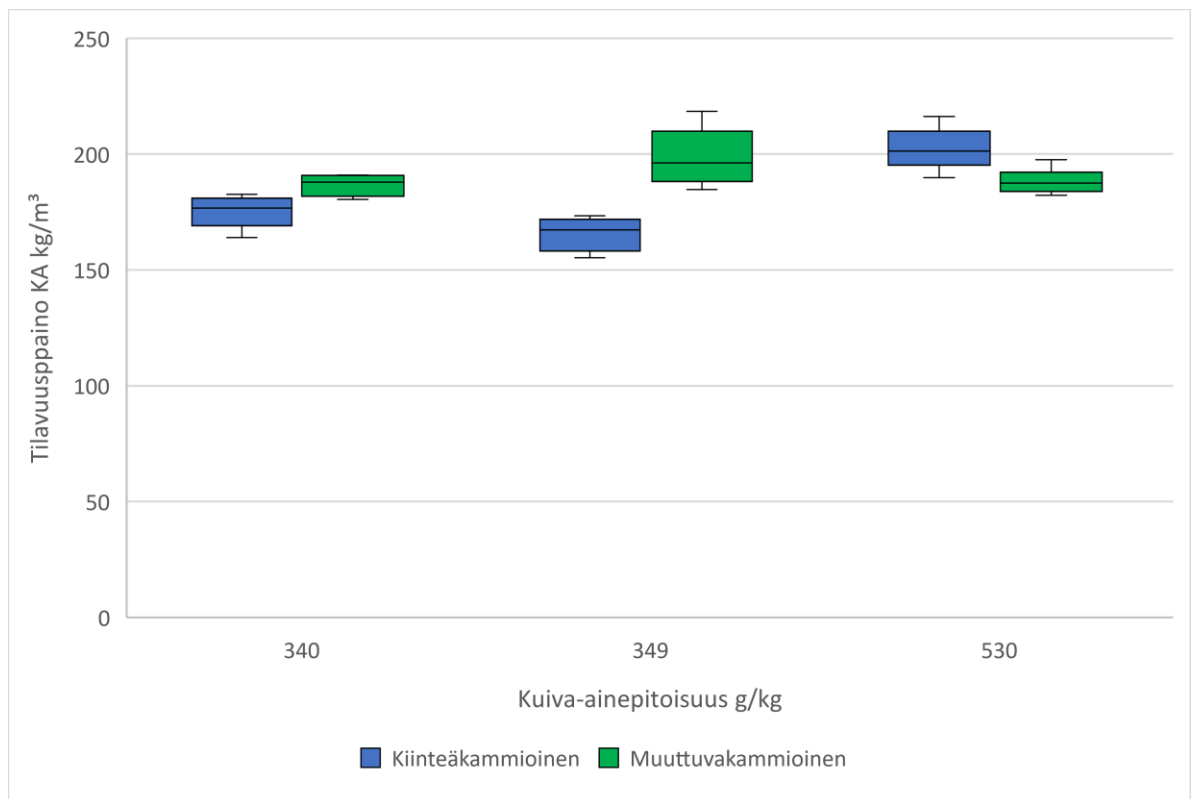
4.5 Rehuanalyysit

Rehuanalyysit otettiin jokaisen koejäsenen kolmesta paalista lyömällä nuijalla valmiiseen paaliin rehunäyteputki. Putki lyötiin keskelle paalia noin 60 cm syvyyteen. Kolmen paalin rehunäytteet sekoitettiin ämpärissä keskenään, josta otettiin yksi edustava näyte muovipussiin. Kaikista paalatuista koejäsenistä otettiin rehunäytteet edellä mainitulla tavalla. Näytteet lähetettiin Seinäjoen elintarvike- ja ympäristölaboratorioon säilörehuanalyysiä varten. Rehuanalyysistä hyödynnettiin kuiva-aineanalyysin tulosta, jotta saatiin varmistettua koejäsenten kuiva-aine pitoisuus. Tutkimusmenetelmänä käytettiin rehun kuivausta 24 tuntia 80 celsiusasteen lämmössä.

5. Tulokset

5.1 Pyöröpaalin tilavuuspaino eri kosteusolosuhteissa

Kiinteäkammioisen pyöröpaalaimen paalin tilavuuspaino oli kosteimmassa kokeessa suurempi kuin muuttuvakammioisen, mutta muuttuvakammioisen rehunäyte oli tässä kokeessa selvästi kiinteäkammioisen näytettä kuivempi. Muuttuvakammioisen paalaimen paalin tilavuuspaino oli keskimmaisessä kosteusolosuhteessa suurempi kuin kiinteäkammioisen paalin. Kuivimmassa olosuhteessa tehdyt paalit olivat kiinteäkammioisella paalaimella tilavuuspainoltaan suurempia, vaikka kuvassa 14 kiinteäkammioisen paalin kuiva-ainetilavuuspaino on hieman muuttuvakammioista pienempi.



Kuva 14. Eri kosteuksissa tehtyjen paalien kuiva-aine tilavuuspainot. Jana kuvaa kyseisen kokeen aikana vallinnutta vaihteluväliä paalien tilavuuspainoissa. Suorakaide kuvastaa aluetta, johon kuuluu 50 % mittauksen tuloksista. Suorakaiteen sisällä oleva viiva on kyseisen mittauksen mediaanipaalin kuiva-aineen tilavuuspaino.

Taulukko 2. Paalien painot, tilavuuspainot ja kuiva-ainemäärät eri olosuhteissa ja molemmilla paalintyypeillä.

	Kosteus 1		Kosteus 2		Kosteus 3	
Paalaimen kammiotyyppi	Kiinteä	Muuttuva	Kiinteä	Muuttuva	Kiinteä	Muuttuva
Kuiva-aine g/kg	340	368	349	388	530	522
Paalin massa kg (punnittu)	856	883	788	784	633	598
Tilavuuspaino kg/m ³	516	507	475	513	382	361
Kuiva-ainetta/m ³	175	186	166	199	202	188

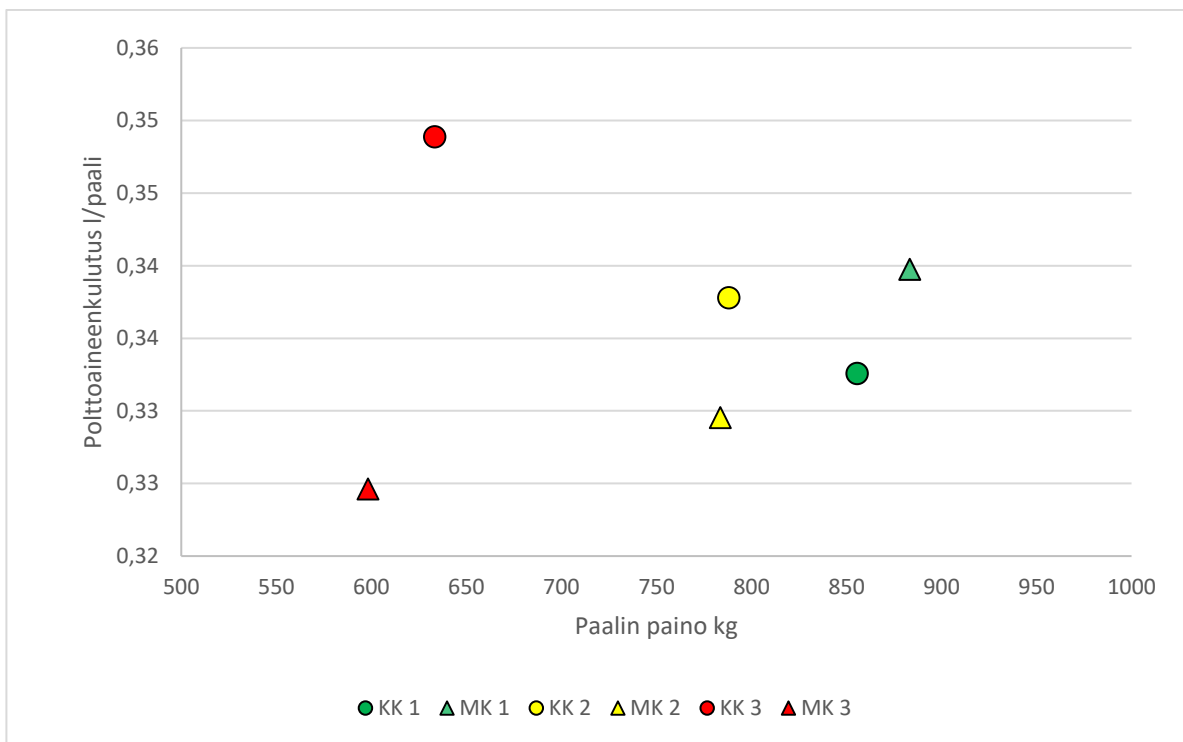
Mittaukset onnistuivat hyvin, koska koneille syntyi johdonmukainen ero. Kahden kosteamman olosuhteen paaleissa kuiva-ainepitoisuus oli korkeampi muuttuvakammioisella paalaimella ja kuivimmassa olosuhteessa kiinteäkammioisella oli korkeampi kuiva-ainepitoisuus, mikä vaikutti selkeästi paalin massa, tilavuuspainoon ja kuiva-ainemäärään kuutiossa. Kaikissa tapauksissa suurin kuiva-ainetilavuuspaino muodostui paaliin, jossa materiaali oli kuivempaa, riippumatta paalaimen kammiotyyppistä.

5.2. Kammiotyyppin vaikutus polttoaineen kulutukseen

Muuttuvakammioisen ja kiinteäkammioisen paalaimen polttoaineen kulutuksen välillä ei ollut merkittävää eroa. Mittausten perusteella kiinteäkammioinen paalain kulutti paalattua rehukiloa kohti 1-2% enemmän polttoainetta. Paalikohtainen polttoaineen kulutus vaihteli melko vähän. 15 terällä ja halkaisijaltaan 130 cm paalilla, kummallakin paalaimella paalikohtainen polttoaineenkulutus oli 0,349 l/paali ja 0,325 l/paali välillä. Taulukossa 3. on esitetty polttoaineen kulutus eri tilanteissa. Taulukosta ilmenee myös polttoaineenkulutus litroina rehutonnia kohti sekä litroina rehun kuiva-ainetonnin kohti. Vertailtavien kokeiden erot kuiva-ainekiloa kohti kulutetusta polttoaineesta on esitetty prosentteina. Kuivimmassa olosuhteessa kuiva-ainetonnin paalaamiseen kului vähiten polttoainetta molemmilla paalaimilla.

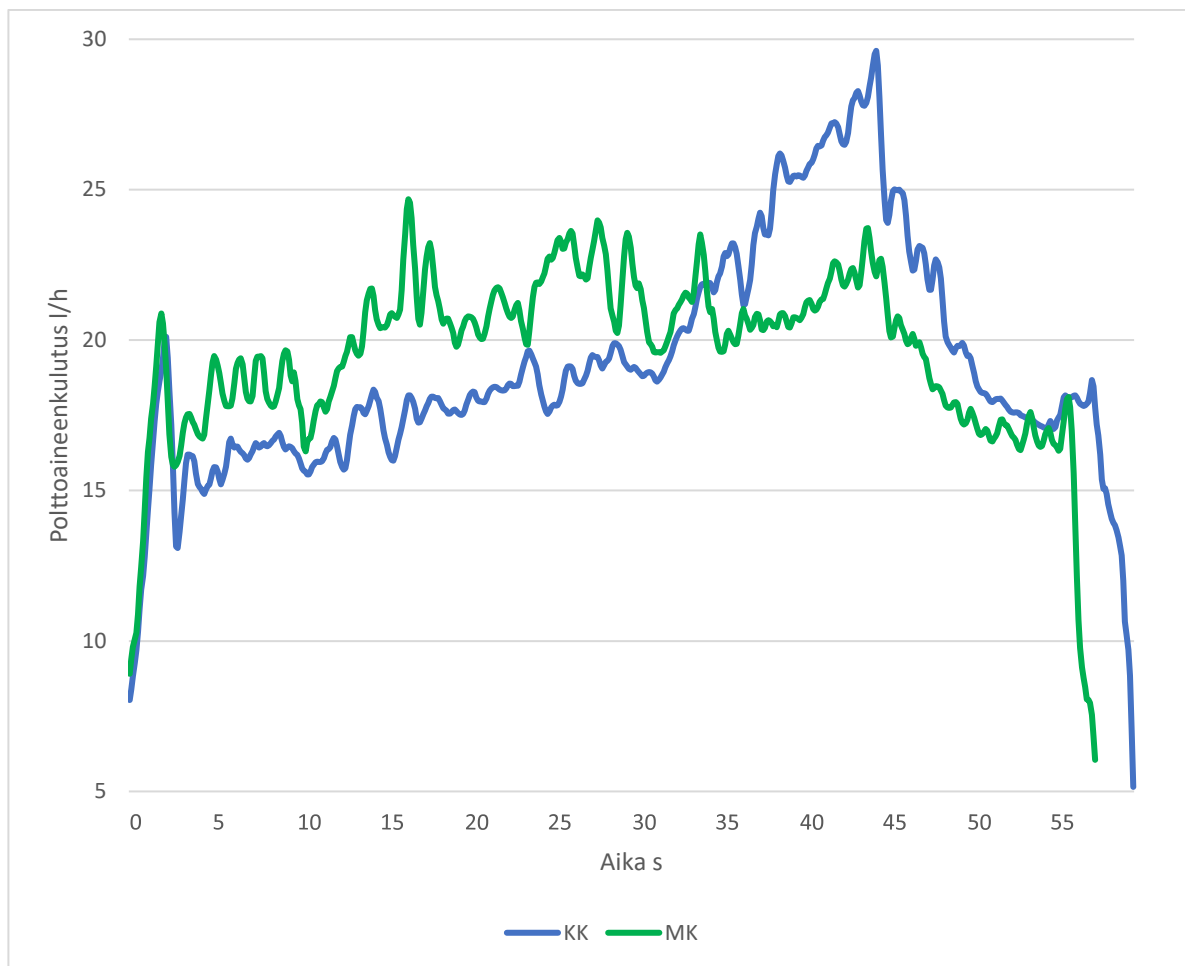
Taulukko 3. Paalauksen polttoaineenkulutus muuttuvakammioisella ja kiinteäkammioisella paalaimella eri olosuhteissa. 1. mittaukset on tehty paalauspäivän alussa. 3. mittaukset paalauspäivän lopussa ja 2. mittaus näiden välissä.

Mittaus	Kuiva-aine g/kg	Paalin paino kg	Paalin tilavuuspaino	Polttoaineen kulutus l/paali	Polttoaineen kulutus l/T	Polttoaineen kulutus l/T KA	Erotus vertailukokeen polttoaineen kulutuksista l/T KA
Kiinteäkammioinen 1	340	856	516	0,333	0,389	1,143	9,40 %
Muuttuvakammioinen 1	368	883	507	0,340	0,385	1,045	
Muuttuvakammioinen 1 150 cm halkaisija (verrataan Muuttuvakammioinen 1 mittaukseen)	347	1052	499	0,414	0,393	1,133	8,46 %
Kiinteäkammioinen 2	349	788	475	0,338	0,429	1,228	13,33 %
Muuttuvakammioinen 2	388	784	513	0,330	0,421	1,084	
Kiinteäkammioinen 3	530	633	382	0,349	0,551	1,040	0,02 %
Muuttuvakammioinen 3	522	598	513	0,325	0,543	1,039	
Kiinteäkammioinen 0 terää	479	601	288	0,247	0,412	0,860	22,32 %
Kiinteäkammioinen 25 terää	476	651	393	0,326	0,501	1,052	



Kuva 15. Paalikohtainen polttoaineenkulutus molemmilla paalaimilla kolmessa eri olosuhteessa.

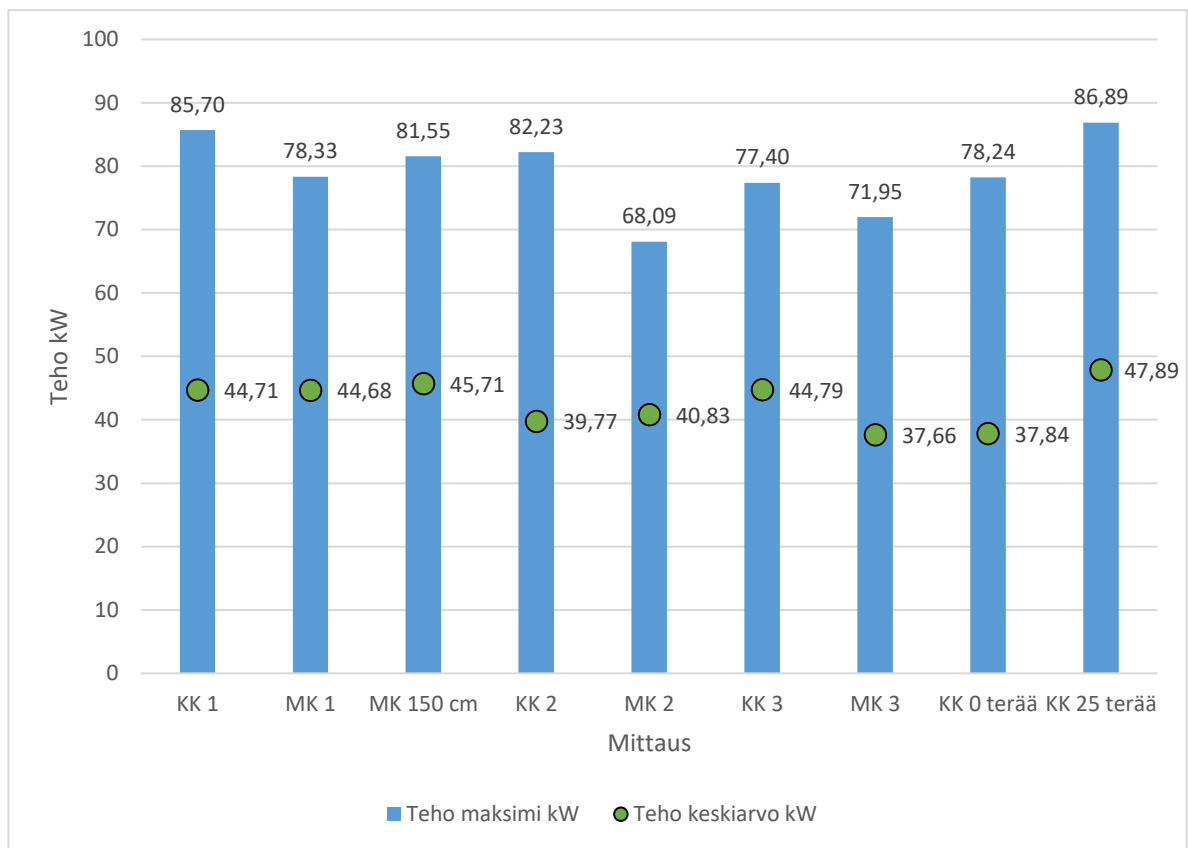
Polttoaineen kulutus paalinteon aikana jakautui hyvin eri tavalla paalainten välillä. Polttoaineenkulutus muuttuvakammioisella paalaimella oli huomattavasti tasaisempi läpi paalin kehityksen. Kiinteäkammioisen paalaimen polttoaineenkulutus nousi paalin täyttymisen aikana loppua kohden kiihtyen. Paalin täyttymisen lopussa kulutus kävi esimerkiksi kuvaajassa noin 5 litraa korkeammalla, kuin muuttuvakammioisen paalaimen korkein kulutus koko paalin muodostuksen aikana. Kuvasta 16. ilmenee tyypilliset kulutuskäyrät kummallekin kammiotypille.



Kuva 16. Kuvaaja muuttuvakammioisen ja kiinteäkammioisen paalaimen polttoaineenkulutuskäyrät yhden paalaussyklin aikana.

5.3 Kammiotyyppien vaikutus paalauksen tehontarpeeseen

Kammiotyyppien välillä ei ollut suuria eroja tehon tarpeessa läpi paalaussyklin. Ainoastaan kuivassa olosuhteessa kiinteäkammioinen paalain vaati keskimäärin noin 7,1 kW enemmän tehoa läpi paalaussyklin. Huipputehontarve oli kaikissa tapauksissa suurempi kiinteäkammioisella paalaimella. Kiinteäkammioisen paalaimen suurin huipputehontarve oli paalattavan materiaalin kosteudesta riippuen 5,5 kW - 14,1 kW suurempi kuin muuttuvakammioisen. Kuva 17. esittää paalauksen tehon käyttöä eri tilanteissa. Eri kosteusolosuhteiden lisäksi kuvaajassa näkyy myös muuttuvakammioisella paalaimella tehdyn suuren 150 cm paalin tekemisen tehontarve sekä kiinteäkammioisella paalaimella tehty koe ilman silppuriteriä sekä 25 terällä tehty koe.



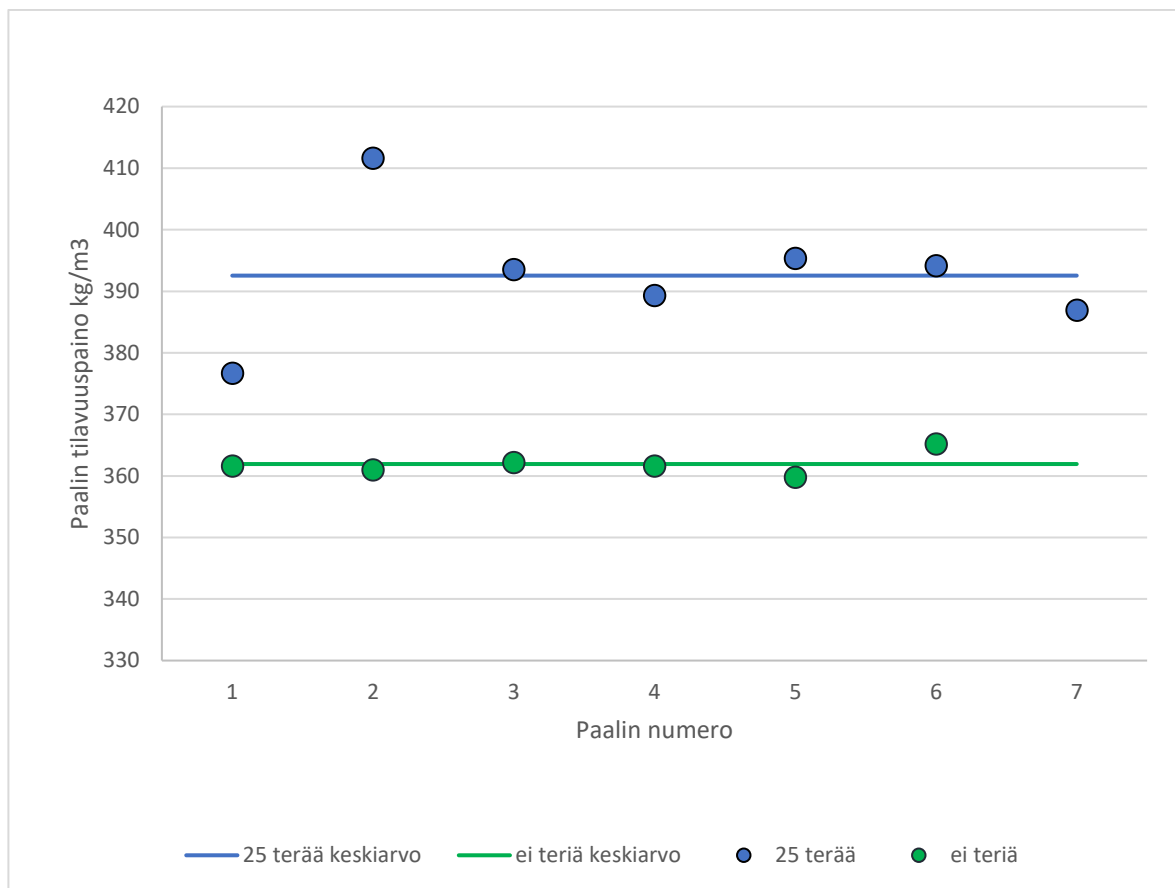
Kuva 17. Paalauksen tehontarpeen suurin arvo ja keskiarvo eri kokeissa

5.4 Paalin halkaisijan vaikutus tilavuuspainoon muuttuvakammioisella paalaimella

Paalin koon muuttaminen noin 145 cm arvoon ei vaikuttanut merkittävästi paalin tilavuuspainoon. Suuremman paalin tilavuuspaino oli mittauksissa noin 1,6 % pienempi kuin 130 cm halkaisijalla oleva paali. Paalin paino kasvoi keskimäärin 169 kg paali koon kasvattamisen ansiosta.

5.5 Silppuriterien vaikutus paalin painoon

25 terällä silputun paalin paino oli keskimäärin 51 kg suurempi kuin paalin, jossa ei käytetty silppuria. Mittauksen tekohetkellä materiaalin kuiva-ainepitoisuus oli 476 g/kg ja 479 g/kg välillä. Ilman silppuria keskimääräinen paalin paino oli noin 600 kg ja silputtu paali painoi keskimäärin 651 kg. Silppurin käyttö paalauksessa lisäsi paalin pantoa noin 8,5 %. Taulukossa on esitetty paalien tilavuuspaino kahdessa eri tilanteessa.



Kuva 18. Siniset pisteet ovat terillä tehtyjen paalien tilavuuspainot ja vihreät pisteet ovat ilman teriä tehtyjä paaleja. Lineaariset viivat kuvaavat kokeiden paalien keskiarvoja.

5.6. Silppuriterien vaikutus paalauksen polttoaineen kulutukseen

Kiinteäkammioisella paalaimella ilman teriä paalatessa polttoaineen kulutus oli 16,0 l/h, joka teki paalia kohti 0,25 l/paali. Kulutus 25 silppuriterällä oli 19,1 l/h ja paalia kohti 0,33 l/paali. Terät nostivat kulutusta noin 31,8 % paalia kohti, mutta kulutus paalattua kiloa kohti nousi teriä käytettäessä 21,5 %.

6. Tulosten tarkastelu

6.1 Kammiotyyppin vaikutus paalien tilavuuspainoon

Tämän tutkimuksen tulosten perusteella, ainakaan kyseisen valmistajan mallien välille, ei muodostunut merkittävää eroa. Eri kosteusolosuhteissa paalien tilavuuspainojen erot eivät muodostuneet merkittävän suuriksi ja paalainten hienoinen paremmuus vaihteli eri tilanteissa. Rehunäytteiden mukaan kuiva-ainepitoisuus oli muuttuvakammioisella paalaimella suurempi molemmissa kahdessa kosteimmassa kokeessa, mikä vaikutti paalien kuiva-aine tilavuuspainoihin merkittävästi. Joissakin vanhemmissa tutkimuksissa, kuten Suokannaksen 1993 tutkimuksessa, muuttuvakammioinen tuotti merkittävästi tilavuuspainoltaan suurempia paaleja. Tilavuuspainon sanottiin olevan jopa 10 % - 20 % suurempi kuin kiinteäkammioisella paalaimella.

Kervisen ja Suokannaksen 1991 tutkimuksessa muuttuvakammioinen paalain teki käytännössä kaikissa olosuhteissa tilavuuspainoltaan suurempia paaleja. Vanhojen ja tämän tutkimuksen perusteella kiinteäkammioisen paalaimen tekniikka on kehittynyt ja saavuttanut muuttuvakammioista paalainta paalin tiukkuuden ja tilavuuspainon osalta. Tremblay ym. 1997 tutkimuksessa paalain tyyppillä ei todettu olevan merkittävää vaikutusta paalin tilavuuspainoon. Pieni ero kammiotyyppien välillä oli samansuuntainen kuin tässä tutkimuksessa (Taulukko 1). Kiinteäkammioinen paalain teki tilavuuspainoltaan suuremman paalin, kun paalattava materiaali oli kuivaa. Vastaavasti muuttuvakammioinen paalain tuotti tässä tutkimuksessa kosteimmassa olosuhteessa tilavuuspainoltaan suuremman paalin, kuin kiinteäkammioinen, samoin kuin Tremblay ym. 1997 tutkimuksessa.

Paalauksessa käytettiin molemmissa koneissa vain 15 terää, mikä on huomioitava tuloksia tarkastellessa. 25 terällä molemmat paalaimet olisivat tehneet tilavuuspainoltaan ja massaltaan suurempia paaleja. Tässä kokeessa käytetyssä kiinteäkammioisessa paalaimessa oli 25 terän terälaite ja muuttuvakammioiseen paalaimeseenkin sen olisi saanut lisävarusteena, mutta kokeessa käytettyyn koneeseen oli valittu 15 terän terälaite. Kokeen kannalta ei ollut merkitystä montaako terää siinä käytettiin, kunhan teriä oli sama määrä, jotta kammioiden erot saatiin luotettavasti esille. Pientä epävarmuutta tuloksiin on saattanut aiheuttaa se, että kiinteäkammioisen paalaimen terät eivät ole aivan tasajaolla kiinni teräpohjassa, sillä 25 terällä varustettu paalain on tarkoitettu toimimaan joko 12, 13 tai 25 terällä.

Novek ym. 2017 tutkimuksessa vertailtujen kahden muuttuvakammioisen paalaimen tekemien paalien kuiva-ainetilavuuspainot olivat noin 385 g/kg kuiva-ainepitoisuudessa 174,8 kg/m³ ja 180,3 kg/m³. Tässä tutkimuksessa käytettyjen paalainten tuottamat paalit olivat kuiva-ainetilavuuspainoltaan eri olosuhteissa 165,8 kg/m³ ja 202 kg/m³, joten

verrattuna edellisiin tutkimuksiin tämän tutkimuksen tulokset olivat hyvin lähellä saman aikakauden koneilla tehtyjen tutkimusten tuloksia.

Paaleissa oleva vaihtelu saman olosuhteen sisällä johtuu monesta asiasta. Karhossa olevat epätasaiset kohdat voivat merkittävästi vaikuttaa paalin painon muodostumiseen. Jos noukin ottaa karhosta suuremman patin sisäänsä paalin muodostuksen loppuvaiheessa, saattaa paalin muoto kärsiä ja paalista tulla hieman soikean muotoinen. Tällöin kiinteäkammioisen paalaimen paalikammion asentoa tunnusteleva anturi voi havaita kammion olevan avautunut tai muuttuvakammioisen paalaimen anturi tunnistaa paalin olevan tavoitekoossa hieman aiemmin, kuin on tarkoitus. Lisäksi vaihtelua paalin painoissa aiheuttaa karhojen välinen kosteusvaihtelu. Jokaisesta paalista ei otettu omaa rehunäytettä, vaan jokaisesta erästä otettiin yhteinen näyte, joka analysoitiin. Vaihtelut erän sisällä paalien välillä on mahdollisia. Suuret erot kosteuksissa paalien välillä ovat epätodennäköisiä, sillä kokeiden karhot olivat kaikki avomaalla, jossa ei esiinny esimerkiksi metsien varjostusta.

Kun toimitaan luonnon materiaalien kanssa, jossa on aina vaihtelua ja esimerkiksi maalajista, säästä, lannoituksesta ja kasvilajeista riippuvia muuttujia, on laajojen yleistysten tekeminen haastavaa. Jatkossa voisi tehdä kokeita enemmän olosuhteiden ääripäissä. Kuivan heinän tai oljen sekä vielä tätä koetta kosteamman säilörehun tekemisellä nähtäisiin, onko ääripäissä koneiden välillä enemmän eroa, kuin tämän kokeen esikuvatulla säilörehulla.

Tämän tutkimuksen kokeet tehtiin käyttäen kahta paalainta. Tulosten luotettavuuden parantamiseksi kokeen uusiminen toisilla vastaavilla koneella parantaisi tulosten luotettavuutta.

6.2 Kammiotyyppin vaikutus polttoaineen kulutukseen ja tehontarpeeseen

Kammiotyyppin ei uskottu vaikuttavan merkittävästi polttoaineen kulutukseen paalauksessa. Tulokset näyttivät erojen olevan hypoteesin mukaisia ja erojen todella pieniä. Kiinteäkammioinen paalain tuotti polttoaineen kulutuksessa piikin paalin muodostuksen loppua kohden, kun paali alkoi täyttyä. Muuttuvakammioisen polttoaineenkulutuksen ollessa melko tasainen koko paalinmuodostuksen ajan. Sama todettiin vanhemmissa Freeland ja Bledsoe 1988 sekä Kervinen ja Suokannas 1993 -tutkimuksissa, jossa tehontarvekäyrät muistuttivat juuri tämän tutkimuksen käyriä. Erot koneiden välillä liittyvät paalin tiivistämisen erilaiseen mekaniikkaan. Muuttuvakammioisen paalaimen vakaampi tehontarve liittyy jatkuvaan paalin tiivistämiseen, kun taas kiinteäkammioisen paalaimen paalin tiivistys alkaa vasta, kun paalikammio alkaa täyttyä ja paalattava materiaali antaa painetta teloille. Kammion telojen materiaaliin kohdistava paine kasvaa, kun materiaalia

tulee lisää ja näin muodostuu hetkellinen korkeampi tehonterve ja sitä myötä suurempi polttoaineen kulutus paalin täyttyessä. Se, ettei paalainten välisessä paalikohtaisessa kulutuksessa ollut suuria eroja liittyy varmaankin siihen, että muodostuneet paalit olivat kooltaan myös lopulta melko lähellä toisiaan. Kun paalia kohti kuluva aika ja koneella tehtävä työ on sama, paalien ollessa yhtä painavia, ei ole yllättävää, että polttoaineen kulutuskin on lähellä toisiaan. Voidaan siis karkeasti päätellä, että molempien koneiden hyötysuhteet ovat hyvin lähellä toisiaan, koska samanlaisen paalin tuottamiseen tehtävään työhön kuluu saman verran polttoainetta.

6.3 Paalin halkaisijan vaikutus tilavuuspainoon ja polttoaineenkulutukseen muuttuvakammioisella paalaimella

Paalin koon kasvattaminen lisäsi paalin painoa ja pienensi tilavuuspainoa odotetulla tavalla. Paalattua rehumäärää kohti myös polttoaineenkulutus kasvoi odotetulla tavalla. Tämä johtuu siitä, että paalain joutuu pyörittämään suurta massaa sisällään pidempään, joka luonnollisesti kuluttaa energiaa. Paalin kokoa kasvattamalla voidaan logistiikassa saavuttaa etuja, kun käsiteltävien kappaleiden määrä vähenee. Toisaalta raskaampien, massaltaan yli 1000 kg painavien, paalien logistiikan hoitaminen kuitenkin vaatii järeämpää kuormainkalustoa, kuin pienen etukuorman traktorin. Huomioitavaa on myös, että paalin kuljettamiseen käytettävään perävaunuun ei voida lastata pystyasennossa yli 130 cm halkaisijaltaan olevia paaleja rinnakkain niin, ettei kuorman leveys ylitä 260 cm, koska tieliikennelain mukaan 260 cm on suurin sallittu leveys traktoriin kytkettävälle perävaunulle (VN 1992). 130 cm leveämmät paalit kannattanee tällöin kuljettaa pystyasennossa, mikä saattaa hankaloittaa paalien käsittelyä ja mahdollisesti vähentää saavutettavaa hyötykuormaa. Paalilogistiikka on monesta asiasta riippuva kokonaisuus (Slobodan ym. 2012), jota voisi kannattaa tutkia jatkossa tarkemmin.

6.4 Silppuriterien vaikutus paalin painoon ja paalauksen polttoaineenkulutukseen

Silppuriterät vaikuttivat oletetulla tavalla paalin painon muodostumiseen ja materiaalia mahtui silputtuun paaliin selkeästi enemmän. Mittaushetkellä paalattava materiaali oli hyvin kuivaa (476 g/kg ja 479 g/kg), mikä vaikutti merkittävästi paalin painoa alentavasti. Kun ero oli noin 51 kg kuivien paalien välillä, olisi ero kosteammalla rehulla ollut todennäköisesti kilomääräisesti suurempi. Vähiten energiaa rehukiloa kohti kului ilman teriä paalattujen paalien paalaamiseen. Terien käytön kannattavuus riippuu monesta asiasta. Jos paalit kääritään, kustannus kasvaa, kun paalattua rehukiloa kohti kuluva muovin määrä lisääntyy paalin tilavuuspainon pienentyessä. Oleellista on, silputaanko rehua ruokinnan yhteydessä vai olisiko jostain syystä tarvetta jättää rehua silppuamatta. 15 terällä teoreettinen silpunpituus oli 65 mm ja 25 terällä 46 mm. Silppuaminen paalauksen yhteydessä ei hidasta paalausta juurikaan. Silppuaminen voi jopa nopeuttaa paalaamista, kun sitomaan joutuu pysähtymään harvemmin, kun silppuria käytettäessä paaliin saadaan

mahtumaan enemmän materiaalia. Silppuaminen paalauksen yhteydessä vähentää myös apevaunussa tehtävän lisäsilppuamisen tarvetta. Todennäköisesti silppuamattoman rehun paalauksessa säästetty polttoaine tulee käytettäväksi myöhemmin appeen sekoittamisen aikana, jolloin pitkän korsirehun silppuamiseen kuluu polttoaineen lisäksi myös päivittäistä työaika.

Terien poistaminen lyhensi paalaus syklin aikaa keskimäärin noin 61,5 sekunnista 5,7 sekuntia noin 55,8 sekuntiin, koska paaliin mahtui vähemmän materiaalia. Paalin muodostumisen kuvasta 16 nähdään, että sidonta kestää noin 13 sekuntia, jonka aikana paaliin ei kerry lisää materiaalia. Paalin muodostamisaika pienenee ilman teriä paalattaessa 12 %.

Kanadalaisen tutkimuksen mukaan silppuaminen ei olisi vaikuttanut paalin painoon (Taulukko 1) (Tremblay ym. 1997), sillä kokeessa painavampi paali tuli ilman teriä tehdyllä paalilla. Tämä poikkeaa selkeästi tämän tutkimuksen tuloksista, sillä tässä tutkimuksessa jokainen silputtu paali sisälsi enemmän materiaalia, kuin silppuamaton paali.

7. Johtopäätökset

Paalaimen kammiotyyppi on oleellinen mietittävä asia paalainta hankittaessa. Valintaan vaikuttaa moni asia. Tutkimuksessa tehtyjen kokeiden lisäksi valintaan vaikuttaa merkittävästi käyttäjän aiemmat kokemukset erilaisista paalaimista. Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää pitääkö paalaimista olemassa olevat yleiset uskomukset paikkaansa ja millaiset erot eri kammiotyyppien välille muodostuu samoissa olosuhteissa.

Tämän tutkimuksen perusteella kammiotyyppillä on merkitystä mutta tutkimuksessa ei kuitenkaan saatu merkittävää eroa siihen, kumpi paalain tekee paremman 130 cm paalin. Erot paalin painoissa olivat melko pieniä kaikissa olosuhteissa. Merkityksellisempää on tunnistaa paalin käyttökohteeseen sopiva paali ja hankkia kone sen mukaan. Jos tilalla on tarve korjata paljon olkea tai tilan logistiikka soveltuu suurien paalien käyttämiseen muuten, toimii muuttuvakammioinen paalain hyvin. Näin pärjätään yhdellä koneella ja saadaan tehtyä logistisesti paremmin toimivia paaleja. Jos paalaimella on pääasiassa tarkoitus tehdä säilörehua ja raskaita paaleja, on kiinteäkammioinen paalain todennäköisesti toimivampi vaihtoehto.

Suurten paalien logistista etua voisi jatkossa tutkia, sillä vähemmän kappaleita tarkoittaa vähemmän kädenjälkiä ja sitä myötä mahdollisesti ajan säästöä. Kokeessa tehdyt suuret säilörehupaalit painoivat yli 1000 kg, jolloin tuli ongelmia paalien liikuttelussa, koska paalia siirrelleen traktorin perä oli todella kevyt ilman vastapainoa. Paalin suuri koko voi nopeuttaa sen käsittelyä, tai se voi tehdä paalilogistiikan myös hankalaksi, jolloin saavutettu hyöty voi hävitä esimerkiksi kuljetuksen kallistumisessa tai paalaimen ja kuormaimen suurempaan kulumiseen. Paalin ominaisuudet vaikuttavat koko ketjuun. Paalin suuri koko voi muodostua ongelmaksi, esimerkiksi seosrehuruokinnassa, jos pienempiä paaleja mahtuu vaunuun kolme ja suurempia vain kaksi, voi tehtävä apeannos jäädä merkittävästi pienemmäksi. Pienempi apeannos voi lisätä karjatilan työmäärää ja sekoittaa päivärytmiä tilalla. (Suullinen tiedonanto Anders Vahtola 16.01.2018)

Tässä tutkimuksessa käytetyt paalaimet tekivät tilavuuspainoltaan hyvin toisiaan vastaavia paaleja. Paremmuus vaihteli hieman kosteusolosuhteesta riippuen, joten kun tehdään 130 cm halkaisijaltaan olevia paaleja on paalaimessa oleellisempaa toimintavarmuus ja kestävyys.

Paalainten paremmuus tilavuuspainoa ajatellen vaihteli olosuhteista riippuen ja erot olivat hyvin pieniä. Näin ollen tämän tutkimuksen perusteella ei voida tehdä johtopäätöstä siitä, kumpi paalain tekee tilavuuspainoltaan suurempia paaleja. Tulosta voisi vahvistaa ja paalainten välisiä eroja selventää tekemällä uusia kokeita ja näin saamalla tuloksia useammissa olosuhteissa ja erilaisilla materiaaleilla.

8. Kiitokset

Kiitos työn ohjauksesta apulaisprofessori Antti Lajuselle sekä Turun Konekeskuksen myyntijohtaja Anders Vahtolalle. Lisäksi haluan kiittää Turun Konekeskuksen McHale teknisen tuen Timo Kapasen avusta ja vinkeistä kokeen suunnittelussa ja koneiden säätämisessä. Kiitos myös HKScanille rehunäytteiden analysoinnista Seinäjoen elintarvike- ja ympäristölaboratoriossa.

Lähteet

- Chang D, Chung S, Cho B, Park D, Sung N, Kim J, Lee I & Park J. 2013 The Evaluation of a General Purpose Bale System Performance and Its Bale Quality <https://www.e-sciencecentral.org/upload/jbe/pdf/ksam-38-223.pdf> Viitattu 11.11.2019
- VN 1992. Valtioneuvoston asetus traktorin ja moottorityökoneen sekä niihin kytketyn hinattavan ajoneuvon leveydestä. Asetus 1257/1992 Annettu 4.12.1992/ <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1992/19921257> Viitattu 31.3.2020.
- Kervinen J, Suokannas A 1993. Kiedotun pyöröpaalirehun valmistustekniikka ja laatu, Vakolan tutkimusselostus 64
- Luonnonvarakeskus 2019. Käytössä oleva maatalousmaa, ennakkotieto. 18.6.2019 https://statdb.luke.fi/PXWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE_02%20Maatalous_02%20Rakenne_02%20Maatalous-%20ja%20puutarhayritysten%20rakenne/03_Maatalous_ja_puutarhayrit_lkm_tuotantos_ELY.px/table/tableViewLayout1/?rxid=d8fee274-8a13-41ee-a805-d0b5c0839fe0 Viitattu 1.5.2020
- Massey Ferguson 1 2020. Tuotevalikoima kanttipaalaimet. <http://int.masseyferguson.com/mf2200.aspx> Viitattu 3.4.2020
- Massey Ferguson 2 2020. Tuotevalikoima kanttipaalaimet 2200-sarja. <https://www.masseyferguson.us/products/hay-and-forage/2200-series-large-square-balers.html> Viitattu 1.5.2020
- McHale 1 2019. Fusion 3 Plus Paalain ja käärintälaite. Käyttöohjekirja Versio 2.
- McHale 2 2019. Fusion Vario Paalainkäärin. Käyttöohjekirja.
- McHale 3 2019. Integrated Baler Wrappers. Tuotesivu. <https://www.mchale.net/products/mchale-fusion-3/> Viitattu 9.4.2020
- Muck R.E. 2006. Fermentation Characteristics of Round-Bale Silages, US Dairy Forage Research Center <http://agrilifecdn.tamu.edu/spfcic/files/2013/02/muck.pdf> Viitattu 11.11.2019
- Muck R.E. & Shinnors K.J. 2001. Conserved forage (Silge and hay): Progress and priorities. U.S Department of agriculture. Department of Biological Systems Engineering, University of Wisconsin-Madison Madison, Wisconsin, United States of America. <file:///C:/Users/kalle/Downloads/IND44489897.pdf> Viitattu 10.4.2020

- Novek P, Masek J, Bulva M & Benes L 2017. Comparing the work of round balers work. Proceedings of the 8th International Scientific Conference Rural Development. <http://193.219.165.39/index.php/rd/article/view/543/907> Viitattu 4.4.2020
- NurmiArtturi-hanke 2014. ProAgria Etelä-Pohjanmaa ry ja Työteho-seura ry. https://www.proagria.fi/sites/default/files/attachment/nurmiartturi-lehti_pienempi_resoluutio_2.pdf Viitattu 1.5.2020
- Rohrer R.A. Luck J.D. Pitala S.K. & Hoy R. 2018. ASABE. University of Nebraska – Lincoln. Evaluation of the accuracy of machine reported CAN-data for engine torque and speed. https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1589&context=biosyseng_facpub Viitattu 28.01.2020
- Slobodan G, Darr M & Shah A 2012. Large square bale biomass transportation analysis. Iowa State University. https://lib.dr.iastate.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1290&=&context=abe_eng_conf&=&sei-redir=1&referer=https%253A%252F%252Fwww.bing.com%252Fsearch%253Fq%253Dlarge%252Bsquare%252Bbale%252Bbiomass%252Btransportation%252Banalysis%252Basabe%2526qs%253Dn%2526form%253DQBRE%2526sp%253D-1%2526pg%253Dlarge%252Bsquare%252Bbale%252Bbiomass%252Btransportation%252Banalysis%2526sc%253D0-49%2526sk%253D%2526cvid%253D06FE78E8CAB24097BB025BA94B56BC59#search=%22large%20square%20bale%20biomass%20transportation%20analysis%20asabe%22 Viitattu 8.4.2020
- Suokannas A. 1993. Pyöröpaalisäilörehun korjuu, varastointi ja laatu, Vakolan tiedote 55/93 https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/482527/vtiedote55_93.pdf?sequence=1 Viitattu 10.11.2019
- Tremblay D. Savoie P. & LePhat Q. 1997. Soils and Crops Research and Development Centre. Agriculture and Agri-Food Canada. Power requirements and bale characteristics for a fixed and a variable chamber baler PDF
- Turun Konekeskus. 2019. Massey Ferguson 7700 -sarjan esite. https://www.turunkonekeskus.fi/media/tiedostot/esitteet/a-fi-16459_mf-7700_s_broch_finnish_dv23_2018updatedv2_final-fi_web.pdf Viitattu 20.10.2019
- Työteho-seura 2018. Maatalouskoneurakointihintoja vuonna 2018. https://www.tts.fi/files/2259/Urakointihinnat_2018.pdf Viitattu 2.3.2020

Liitteet

Liite 1. Tutkimuksessa käytettyjen paalainten tekniset tiedot. (Muokattu kohteesta McHale 2019)

Konemalli	Kiinteäkammioinen Fusion 3 +	Muuttuvakammioinen Fusion Vario
Mitat ja Massa		
Pituus	5,8 m	6,3 m
Leveys	2,94 m	2,94 m
Korkeus	3,02 m	3,3 m
Massa	5650 kg	6500 kg
Noukin		
Työleveys	2000 mm	2100 mm
Piikkiakselit	5	5
Piikkiväli	70 mm	70 mm
Noukkimen nosto	Hydraulinen	Hydraulinen
Noukkimen pyörät	Vakio	Vakio
Sippuriyksikkö		
Terien suurin määrä	25	15
Teoreettinen silpun pituus	46 mm	65 mm
Tukoksen esto järjestelmä	Laskettava terapohja	Laskettava terapohja
Terien säätö	Hydraulinen ohjaamosta	Hydraulinen ohjaamosta
Terien laukaisu	Hydraulinen	Hydraulinen
Paalikammio		
Kammio	Telojen määrä 18	Remmien määrä 1
Leveys	1,23 m	1,23 m
Halkaisija	1,25 m	0,6 - 1,68 m
Rasvaus	Automaattinen	-
Laakerit	50 mm	-
Sidonta		
Tyyppi	Muovi tai verkko	Verkko
Kerrosten säätö	Ohjaamosta	Ohjaamosta
Sidontarullien määrä	1 + 1 varastossa	1 + 2 varastossa
Sidonnan kiristys	Ohjaamosta	Ohjaamosta
Ohjaus	Manuaalinen tai Automaattinen	Manuaalinen tai Automaattinen
Käärintä		
Käärintälaitte	Vertikaalinen käärintäkehä	Vertikaalinen käärintäkehä
Muovivarasto	10 + 2 käärijässä	10 + 2 käärijässä
Käärintäkerrokset	2 + 2 + 2	2 + 2 + 2
Jakolaitteet	70% * 750 mm	70% * 750 mm
Muovin venytys	70% (55% lisävaruste)	70% (55% lisävaruste)
Voimalinja		
Noukkimen suojaus	Luistokytkin	Luistokytkin
Päävoimalinjan suojaus	Nokkakytkin	Nokkakytkin
Vaihe	Jakolaatikko	Jakolaatikko
Ketjuvoitelu	Automaattinen	Automaattinen
Ohjaus		
Paalin tiukkuuden säätö	Paalaimesta hydraulisesti	Ohjaamosta
Työskentely	Elektronisesti ohjattu	Elektronisesti ohjattu
Käyttöjärjestelmä	iTouch System	iTouch System
Sisäänrakennettu kamera	Vakio	Vakio
Muuta		
Akseli	8 pulttia	8 pulttia
Rengaskoko	650/50R 22,5 (lisävaruste)	650/50R 22,5 (vakio)
Sähköjärjestelmä	12 voltia tasavirtaa 7 amperia	12 voltia tasavirtaa 7 amperia
Tievalot	Vakio	Vakio
Traktorin vaatimukset		
Pienin hydrauliiikan tuotto	45 l/min 180 bar	45 l/min 180 bar
Hydrauliikkajärjestelmä	Avoin tai suljettu kuormantunteva	Avoin tai suljettu kuormantunteva
Pienin PTO tehontarve	80 kW	85 kW

Liite 2. Koelohkot ja -paikat (Muokattu kohteesta
asiointi.maanmittauslaitos.fi/karttapaikka)

